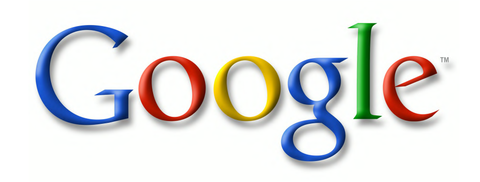
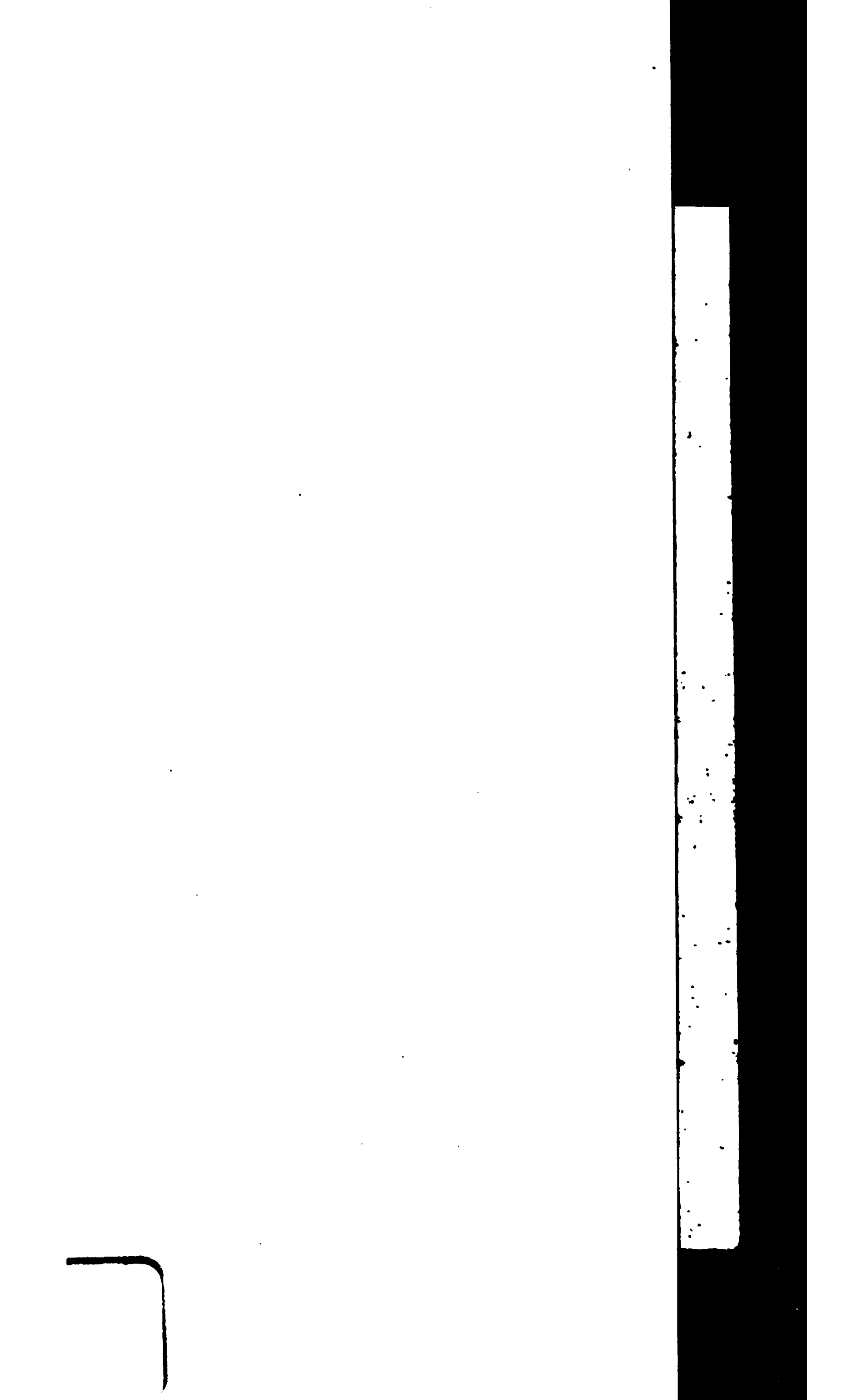
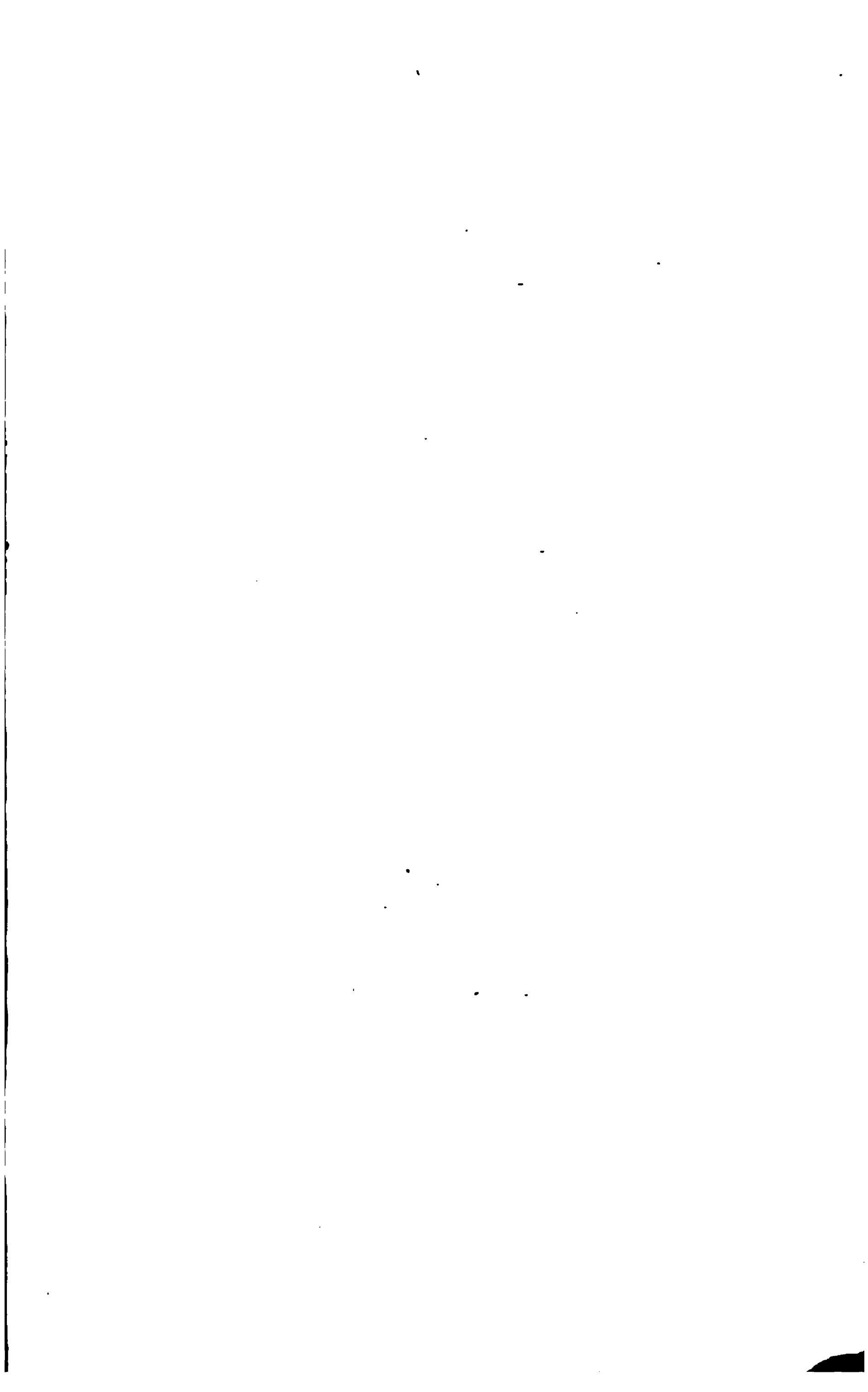








FORMULES,

TABLES ET RENSEIGNEMENTS PRATIQUES;

AIDE-MÉMOIRE

DES INGÉNIEURS, DES ARCHITECTES, ETC.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Ce, rue Racine, 26.

FORMULES,

TABLES

ET

RENSEIGNEMENTS PRATIQUES;

AIDE-MÉMOIRE

DES INGÉNIEURS, DES ARCHITECTES, ETC.

PAR J. CLAUDEL,

Ingénieur civil, ancien élève de l'École centrale des arts et manufactures,
Professeur de mécanique à l'Association philotechnique.

CINQUIÈME ÉDITION

REVUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

PARIS.

DALMONT ET DUNOD, ÉDITEURS,

Précédemment Carilian-Gœury et Victor Dalmont,

LIBRAIRES DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, 49.

1860

INTRODUCTION

DE LA PREMIÈRE ÉDITION.

L'art de bien construire repose sur un certain nombre de principes, qui servent de base aux règles pratiques à suivre dans l'établissement d'un projet quelconque: depuis la machine la plus élémentaire jusqu'à la plus compliquée, de l'atelier du simple ouvrier jusqu'à ces usines et fabriques où des milliers de bras utilisent la force de moteurs qui étonnent par leur puissance et leurs mouvements majestueux, du chemin de culture aux belles lignes de chemin de fer, de la chétive habitation rustique aux palais les plus somptueux.

De ces principes, on conclut, d'après des considérations théoriques, des règles générales invariables, que la pratique modifie selon les diverses circonstances qui se rattachent à chacune d'elles.

Les règles théoriques s'expriment par des formules, également invariables, que posent ces hommes qui savent si bien analyser toutes les causes qui participent à un effet. Les règles pratiques s'expriment par les mêmes formules, mais en y faisant intervenir un coefficient pour tenir compte des circonstances que l'on ne peut analyser théoriquement: si l'on veut avoir, par exemple, le travail produit par la vapeur dans une machine à vapeur, il faut affecter l'expression théorique du travail qu'elle développe dans le cylindre d'un coefficient qui

dépend du frottement des pièces de la machine, du refroidissement, des pertes de vapeur, etc., et qui, par suite, varie avec le système, les soins d'entretien et la force de la machine; si l'on calcule la section à donner à une pièce pour résister à un effort donné, il faut, pour tenir compte de la non-homogénéité de la matière, multiplier le résultat théorique par un coefficient qui varie selon la nature de la pièce, son mode de résister, et le degré de stabilité qu'on veut obtenir.

Quelques règles sont empiriques, c'est-à-dire que les formules qui les expriment sont posées de manière à représenter, aussi exactement que possible, les relations qui existent entre différents résultats pratiques, sans avoir égard à aucune considération théorique: telles sont les formules qui lient la température de la vapeur d'eau à sa force élastique (n° 292).

Autant que l'on peut, il faut déduire les formules pratiques des formules théoriques, parce que ces dernières généralisent, au lieu que celles purement pratiques ne font que réunir des résultats obtenus dans des cas particuliers, et qui souvent varient d'un lieu à un autre, d'une matière à une autre, en un mot suivant les mille circonstances différentes qui se présentent dans les applications.

Ainsi la pratique doit s'appuyer sur la théorie; c'est en partant de ce point de vue que nous avons rédigé ce recueil de formules, tables et renseignements, afin qu'il soit utile aux savants, que les ingénieurs et architectes y trouvent des règles sûres pour établir leurs projets, et les constructeurs et ouvriers, tous les renseignements nécessaires à la bonne exécution de leurs travaux.

Nous avons, autant qu'il nous a été possible, cité l'auteur de chaque formule et de chaque renseignement, d'abord pour lui attribuer le mérite de son œuvre, et ensuite parce qu'on retient mieux et applique plus sûrement une règle quand on connaît la source d'où elle découle; si nous avons fait quelques omissions, nous prions les personnes qui y sont intéressées de vouloir bien nous les faire connaître; c'est également avec la plus vive recon-

naissance que nous recevrons leurs observations sur ce qui se trouve dans notre ouvrage, et les documents qui peuvent ne pas être à notre connaissance.

L'art de construire se divise en plusieurs parties; mais il y a des règles qui sont communes à toutes, et d'autres qui ne diffèrent que légèrement dans plusieurs d'entre elles : c'est afin de ne pas faire double emploi, et de bien montrer l'analogie qui existe entre les mêmes règles appliquées dans diverses circonstances, que nous les avons toutes réunies dans un même volume. En suivant ces règles, les ingénieurs, les architectes et les constructeurs mettront en harmonie les différentes parties de leurs projets, donneront des dimensions convenables et des formes agréables à leurs pièces, et emploieront partout judicieusement la matière, d'où naîtra l'agréable, la commodité, la sécurité et l'économie.

Ouvrier d'abord, nous avons senti l'utilité de ce recueil, ingénieur, nous en comprenons toute l'importance; c'est ce qui nous a décidé à entreprendre un travail aussi pénible que difficile; heureux si nous avons atteint le but que nous nous étions proposé, car nous épargnerons du temps aux personnes qui sont à même de consulter des ouvrages spéciaux sur l'art de construire, et nous viendrons en aide à tous ces hommes laborieux qui se trouvent jusque dans les provinces les plus reculées, et qui, malgré leur talent naturel et leur pratique, ne commettent que trop souvent des erreurs dans les dispositions qu'ils adoptent et dans la manière dont ils emploient les matériaux. Si nous nous sommes rendu utile à nos anciens et nouveaux camarades, ce sera pour nous la plus belle récompense.

L'accueil bienveillant fait aux quatre premières éditions de l'œuvre d'un travailleur, par les personnes qui s'occupent de construction ou d'industrie, nous a engagé à poursuivre la réalisation de la tâche que nous nous étions imposée, laquelle

consiste à mettre les règles de l'art de construire à la portée de tous les hommes appelés à les appliquer, et cela non-seulement d'une manière purement pratique, mais aussi avec toutes les considérations théoriques desquelles ces règles découlent.

Pour atteindre plus sûrement notre but, outre les nombreuses additions faites aux premières éditions de notre recueil de formules, pour lui faire suivre les progrès de toutes les branches de l'industrie, nous avons publié l'*Introduction théorique et pratique à la science de l'ingénieur* (2e édition), renfermant : un ensemble bien complet de toutes les règles relatives à l'*Arithmétique*, à la *Géométrie* et à l'*Algèbre*; la *Trigonométrie*, avec une table des expressions trigonométriques naturelles de tous les angles de minute en minute : les *Notions de Géométrie analytique*, contenant les tracés des courbes employées dans les arts, leurs équations analytiques, leurs propriétés et leurs mesures; le *levé des plans*, l'*arpentage* et le *nivellement*, avec la description des instruments, la manière de les régler, et les détails relatifs à leur emploi ; enfin, la *Mécanique*, où se trouvent exposés tous les principes de *Statique*, de *Dynamique*, d'*Hydrostatique* et d'*Hydrodynamique*, lesquels mettront les personnes qui n'ont pas fait une étude complète de la science de l'ingénieur, à même de bien comprendre les règles de notre Aide-mémoire et d'en saisir toutes les conséquences.

Nous terminons en témoignant la plus vive reconnaissance aux personnes qui ont bien voulu nous communiquer leurs observations; elles verront, dans le courant de l'ouvrage, l'importance que nous attachons à leurs renseignements par le soin que nous avons apporté à en donner tous les détails.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

Des moteurs naturels animés et inanimés.

Définitions et principes.

Pesanteurs spécifiques.

Moteurs hydrauliques.

Machines à élever l'eau.

Moulins à vent.

Mouvement des gaz.

Résistance des matériaux.

DEUXIÈME PARTIE.

Chaleur appliquée aux arts industriels.

Pouvoirs des corps pour la chaleur.

Évaluation des températures.

Dilatation.

Chaleur spécifique.

Chaleur latente.

Vapeurs.

Sources de froid.

Liquéfaction et solidification des gaz.

Puissances calorifiques des combustibles.

Combustibles.

Air nécessaire à la combustion.

Cheminées.

Foyers.

Chaudières à vapeur.

Distillation.

Évaporation.

Séchage.

Chauffage.

Ventilation.

Exemples d'édifices chauffés et ventilés.

Hygrométrie.

Éclairage.

Établissement des manufactures dites insalubres.

TROISIÈME PARTIE.

Machines à vapeur.

Machines à vapeur sans détente ni condensation.

Machines à vapeur à condensation sans détente.

Machines à vapeur à détente sans condensation.

Machines à vapeur à détente et condensation.

Bateaux à vapeur.

Extrait de l'ordonnance du 23 mai 1843,

relative aux bateaux à vapeur qui naviguent sur les fleuves et rivières (335).

QUATRIÈME PARTIE.

Chemins de fer.

CHEMINS DE FER DE PREMIER ORDRE.

Établissement de la voie.

Wagons.

Résistances au mouvement des wagons.

Machines locomotives.

Frais de construction et d'exploitation des chemins de fer.

CINQUIÈME PARTIE.

Architecture.

Ordres d'architecture.

Épaisseurs des murs.

Dimensions des différentes parties d'un édifice.

Matériaux employés dans les constructions.

Maçonneries.

Pans de bois et cloisons.

Planchers.

Enduits.

Combles.

SIXIÈME PARTIE.

Routes. Ponts. Canaux.

Routes.

Ponts.

Ponceaux.

Ponts en pierre.

Ponts en bois.

Ponts métalliques.

Ponts suspendus.

Canaux.

Canal latéral.

Canaux à point de partage.

SUPPLÉMENT.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES.

FAUTES À CORRIGER.

Pages.	Lignes.			
47	26	le rapport $\frac{d'^{\mu}}{d}$,	*mettre*	le rapport $\frac{d'^{\mu}}{d^{\mu}}$.
397	2 en remontant	81,8,	*mettre*	0,818.
438	17	dans la chaudière,	*mettre*	sous la chaudière.
456	5	automateur,	*mettre*	automoteur.
712	3 en remontant	2,000|2,090,	*mettre*	2,090|2,000.
1030	37	(708),	*mettre*	(714).
1031	10	(708),	*mettre*	(714).

FORMULES,

TABLES ET RENSEIGNEMENTS PRATIQUES;

AIDE-MÉMOIRE

DES INGÉNIEURS, DES ARCHITECTES, ETC.

PREMIÈRE PARTIE.

Des moteurs naturels animés et inanimés.

DÉFINITIONS ET PRINCIPES.

1. *Observations.* Dans ce qui va suivre, à moins qu'on n'exprime le contraire :

Un nombre placé entre parenthèses ( ) indique un numéro d'ordre à consulter;

Un nombre précédé de *Int.* ou de *Art*, placé entre parenthèses, indique un numéro d'ordre de notre *Introduction à la science de l'ingénieur* (2e édition) ou de notre *Pratique de l'art de construire* (2e édition) à consulter.

Les longueurs sont exprimées en mètres ;

Les surfaces, en mètres carrés ;

Les volumes, en mètres cubes ;

Les temps, en secondes ;

Les vitesses, en mètres parcourus par seconde ;

Les forces, en kilogrammes ;

Les quantités de travail, en kilogrammètres (33) ;

$\pi = 3,141\,5926$, ou à peu près $3,141\,6$, ou même $3,14$; c'est le rapport approché de la circonférence au diamètre (*Int.*, 666).

$g = 9,808\,8$ (48) ; $\frac{1}{g} = 0,10195$, soit $0,102$; $\frac{1}{2g} = 0,05097$, soit $0,051$; $\sqrt{2g} = 4,4292$, soit $4,43$.

2. La propriété que possède la matière, de ne pouvoir par elle-même passer de l'état de repos à celui de mouvement, ni modifier le mouvement dont elle est animée, est ce qu'on appelle son *inertie* (*Int.*, 1290).

3. Une *force* est la cause quelconque qui modifie ou tend à modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps (*Int.*, 1291).

4. Le *mouvement* d'un corps est dit *uniforme*, quand les longueurs parcourues en temps égaux quelconques sont égales.

5. Dans le mouvement uniforme, la *vitesse* est l'espace parcouru pendant l'unité de temps, ou qui serait parcouru pendant cette unité si le mouvement était suffisamment prolongé.

De cette définition et de la précédente, il résulte que la vitesse est constante pendant toute la durée du mouvement uniforme.

6. Dans le mouvement uniforme, la relation entre l'espace parcouru, la vitesse et le temps est (*Int.*, 1301)

$$E = vt, \quad \text{d'où} \quad v = \frac{E}{t} \quad \text{et} \quad t = \frac{E}{v}.$$

E espace parcouru pendant le temps t;
v vitesse (5);
t durée du mouvement.

Application. Quel est l'espace parcouru pendant 3', la vitesse étant de 4 mètres par seconde ?

Faisant $v = 4$ et $t = 60 \times 3 = 180$ dans la première des formules précédentes, on a

$$E = 4 \times 180 = 720 \text{ mètres.}$$

7. Le *mouvement* d'un corps est dit *varié* lorsque, contrairement à ce qui existe dans le mouvement uniforme (4), les espaces parcourus en temps égaux quelconques sont inégaux, c'est-à-dire quand la vitesse n'est pas constante pendant toute la durée du mouvement; alors, la relation (6) n'existe plus.

8. Le *mouvement* est dit *périodique uniforme*, lorsque le mobile parcourt certains espaces égaux dans des temps égaux, sans que la même condition soit remplie pour les parties de ces espaces.

Un de ces espaces est le chemin parcouru pendant une *période*, et le temps employé à le parcourir est la *durée de la période*.

Prenant la durée d'une période pour unité de temps et le chemin parcouru pendant cette unité de temps pour vitesse v, l'espace E, la vitesse v, et le temps t, qui exprime un nombre entier de durées de périodes, sont liés par les relations du n° 6.

9. *Vitesse dans le mouvement varié.* Quoique la vitesse puisse ne pas être la même à deux instants successifs du mouvement, on peut la considérer comme constante pendant une portion quelconque infiniment petite de la durée du mouvement; alors, à l'instant considéré, *la vitesse est égale à l'espace infiniment petit divisé par le temps infiniment petit employé à le parcourir*, ou bien encore, *à l'espace qui serait parcouru pendant l'unité de temps, si, à partir de l'instant considéré, le mobile se mouvait avec une vitesse constante égale à celle qu'il a acquise à cet instant* (5).

Désignant par dE l'espace infiniment petit parcouru, et par dt le temps infiniment petit employé à le parcourir, la vitesse est donc

$$v = \frac{dE}{dt}.$$

Dans la pratique il est impossible de prendre dE et dt infiniment petits, et par suite d'avoir v exactement; mais la valeur que l'on trouvera pour cette quantité se rapprochera d'autant plus de la vérité, que dE et dt seront pris plus petits.

Traçant une courbe ayant les valeurs de t pour abscisses et celles correspondantes de E pour ordonnées, la valeur de v après un temps t est donnée par la tangente trigonométrique de l'angle que forme avec l'axe des t la tangente menée à la courbe au point correspondant à t (*Int.*, 1305).

10. *Variation de la vitesse dans le mouvement varié.* v étant la vitesse du mobile à la fin du temps t, après le temps t plus le temps infiniment petit ou *instant* dt, elle a augmenté ou diminué d'une quantité infiniment petite dv, et elle est devenue $v \pm dv$.

dv étant la variation de la vitesse pendant le temps dt, la variation moyenne est, pour l'unité de temps, pendant le temps dt,

$$dv \times \frac{1}{dt} = \frac{dv}{dt}.$$

Cette valeur est la quantité dont varierait la vitesse pendant l'unité de temps qui succéderait à t, si, pour chaque instant dt de cette unité, l'augmentation de la vitesse était constante et égale à dv.

$\frac{dv}{dt}$, que nous représenterons par j, s'appelle l'*accélération de vitesse pendant l'unité de temps*, ou simplement l'*accélération de vitesse* à l'instant considéré, c'est-à-dire à l'instant qui succède au temps t.

Les tangentes à une courbe ayant les valeurs de t pour abscisses et celles correspondantes de v pour ordonnées fournissent les valeurs de j, comme les tangentes à la courbe du n° 9 donnent celles de v (*Int.*, 1306).

11. Lorsque la vitesse v et l'accélération j sont de même signe, c'est-à-dire à la fois toutes deux positives ou toutes deux négatives, le *mouvement* est *accéléré*, dans le sens vulgaire de ce mot; si, au contraire, ces deux quantités sont de signes différents, le *mouvement* est *retardé*.

12. Lorsque l'accélération j est constante, le *mouvement* est dit *uniformément varié*.

13. *Expression de la vitesse dans le mouvement uniformément varié* (*Int.*, 1310). v_o étant la *vitesse initiale*, c'est-à-dire la vitesse du mobile au commencement du temps t, après ce temps, le mobile possède une vitesse

$$v = v_o \pm jt.$$

corps n'est pas considérable et que sa section est faible par rapport à son poids, on peut supposer, dans les cas ordinaires de la chute des corps, qu'il se meut, sans erreur sensible, dans l'air comme dans le vide.

Les formules du mouvement uniformément varié sont, pour le cas de la pesanteur :

1° $$v = \pm v_0 \pm gt; \qquad (13)$$

2° $$E = \pm E_0 \pm v_0 t \pm \frac{1}{2} gt^2. \qquad (14)$$

Faisant $E_0 = 0$, $v_0 = 0$ et $t = 1''$, cette dernière formule devient

$$E = \frac{1}{2} g = 4^m,9044.$$

Ce qui fait voir que l'espace parcouru pendant la première seconde du mouvement par un corps qui tombe dans le vide, en partant du repos, est égal à $4^m,9044$, moitié de la vitesse acquise après ce temps (*Int.*, 1318).

19. *Application de ces formules à la chute des corps.*

La vitesse initiale v_0 étant nulle, c'est-à-dire le corps partant du repos, et $t = 5''$ étant la durée de la descente, la vitesse acquise après ce temps est (13)

$$v = gt = 9,8088 \times 5 = 49^m,044. \qquad (a)$$

Pour savoir quelle doit être la durée de la chute pour que le mobile acquière une vitesse déterminée $v = 49^m,044$, on remarque que la formule (*a*) donne

$$t = \frac{v}{g} = \frac{49,044}{9,8088} = 5''. \qquad (a')$$

Supposant $E_0 = 0$, h étant l'espace parcouru, c'est-à-dire la hauteur de laquelle le corps est tombé après un temps $t = 5''$, on a (1°, 14)

$$h = \frac{1}{2} gt^2 = \frac{1}{2} \times 9,8088 \times 5^2 = 122^m,61. \qquad (b)$$

Pour avoir le temps que mettra un corps pour tomber d'une hauteur $h = 122^m,61$, de la formule (*b*) on tire

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 122,61}{9,8088}} = 5''. \qquad (b')$$

Pour avoir la vitesse qu'acquiert un corps en tombant d'une hauteur donnée $122^m,61$, on remplace dans la formule (*a*) t par sa valeur (*b'*), ce qui donne

$$v = g\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,8088 \times 122,61} = 49^m,044. \qquad (c)$$

Pour avoir la hauteur de laquelle doit tomber un corps pour ac-

quérir une vitesse donnée $v = 49^m,044$ par seconde, de la formule (c) on tire

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{49,044^2}{2 \times 9,8088} = 122^m,61. \qquad (c')$$

Ces formules, qui sont d'un usage continuel en mécanique, donnent : (a) la vitesse en fonction du temps; (a') le temps en fonction de la vitesse; (b) la hauteur de chute en fonction de temps; (b') le temps en fonction de la hauteur de chute; (c) la vitesse en fonction de la hauteur de chute; (c') la hauteur de chute en fonction de la vitesse.

Ces formules sont données pour le cas de la pesanteur; mais des formules des nos 13 et 14 on en peut tirer de tout à fait analogues pour un mouvement uniformément varié quelconque. Nous avons préféré, sans double emploi, donner celles dues à la pesanteur, qui sont d'un usage plus fréquent dans la pratique.

20. Le poids P d'un corps (17) divisé par g (18) est la *masse* de ce corps (*Int.*, 1332).

P et g variant dans le même rapport, la masse $\frac{P}{g}$ d'un corps est la même dans tous les lieux. Comme la quantité de matière d'un même corps est aussi constante, quel que soit le lieu qu'il occupe, la masse donne donc une idée exacte de la quantité de matière, et peut lui servir de mesure (22 et 23).

21. *Relations entre les forces, les vitesses et les masses des mobiles sollicités* (*Int.*, 1326 et suivants). On dit que deux *forces* sont *égales*, lorsqu'elles sont capables d'imprimer le même mouvement à un même mobile, et que les *masses* de deux mobiles sont *égales*, lorsque deux forces égales impriment le même mouvement à ces mobiles. De là on conclut :

1° Que, *pour un même mobile, les forces sont proportionnelles aux accélérations de vitesse;* ainsi on a (*Int.*, 1327)

$$F : f = J : j.$$

F l'une des forces;
f l'autre force;
J accélération de vitesse due à la force F;
j id. id. f.

Supposant les mobiles partis du repos, $V = Jt$ et $v = jt$ étant les vitesses acquises après le même temps t (13), on a $V : v = J : j$, et, par suite,

$$F : f = V : v.$$

Ce qui fait voir que *les forces sont aussi entre elles comme les vitesses qu'elles communiquent à un même mobile dans le même temps.*

Dans cette même hypothèse, les espaces parcourus étant proportionnels aux accélérations et aux vitesses (14), on a aussi

$$F : f = E : e.$$

2° Que, *pour une même accélération de vitesse* (10), *les forces sont proportionnelles aux masses des mobiles;* ainsi on a (*Int.*, 1335)

$$F : f = M : m.$$

M masse du mobile sollicité par la force F;
m masse du mobile sollicité par la force f.

3° Que *deux forces quelconques sont entre elles comme les produits des masses* M *et* m *des mobiles qu'elles sollicitent par les accélérations de vitesse qu'elles leur communiquent;* ainsi on a

$$F : f = MJ : mj, \qquad (a)$$

ou encore, à cause de la proportion $V : v = J : j$,

$$F : f = MV : mv.$$

Ce qui fait voir que *les forces sont entre elles comme les produits des masses par les vitesses.*

22. Appelant *unité de masse*, la masse du mobile qui prend l'unité d'accélération de vitesse dans l'unité de temps quand il est sollicité par l'*unité de force*, il en résulte que faisant dans la proportion précédente (a) $f = 1$ et $j = 1$, d'où $m = 1$ et $mj = 1$, on a

$$F = MJ.$$

Ce qui fait voir que l'*intensité d'une force quelconque est représentée par le produit de la masse par l'accélération de vitesse que la force communique au mobile dans l'unité de temps.*

De la formule précédente on tire

$$M = \frac{F}{J} \quad \text{et} \quad J = \frac{F}{M}.$$

23. Si la force F est le poids P du corps dont la masse est M, $g = 9^m,8088$ étant l'accélération de vitesse (18), les trois formules précédentes deviennent respectivement

$$P = Mg, \quad M = \frac{P}{g} \quad \text{et} \quad g = \frac{P}{M}.$$

Ces nouvelles formules font voir :

1° *Que le poids d'un corps est égal à la masse multipliée par l'accélération* g *due à la pesanteur.*

Pour $M = 1$, on a $P = g = 9^k,8088$.

Ainsi le poids d'un corps dont la masse est égale à l'unité est $9^k,8088$;

2° *Que la masse est égale au poids divisé par* g.

Pour $P = 1$, on a $M = \frac{1}{g} = \frac{1}{9,8088} = 0,102.$

Ce qui montre que *la masse d'un corps du poids de 1 kil. est* 0,102;

3° *Que l'accélération* g *due à la pesanteur est égale au poids du corps divisé par sa masse.*

24. Deux forces étant entre elles comme les accélérations qu'elles communiquent à un même mobile (21), l'une des forces étant le poids du mobile, on a

$$F : P = J : g. \qquad (a)$$

Proportion qui donne l'accélération J qu'une force quelconque communique par seconde à un mobile dont le poids est P et la masse $M = \frac{P}{g}$.

Pour $F = 10^k$, et $P = 25^k$, cétte proportion devient

$$10 : 25 = J : 9,8088, \quad \text{d'où} \quad J = \frac{10 \times 9,8088}{25} = 3^m,9235.$$

Comme la vitesse, après un temps quelconque t, est Jt (13), ayant l'accélération J, *on peut donc déterminer quelle vitesse une force connue aura communiquée à un mobile d'un poids déterminé après un temps donné.* Pour $t = 8''$, on aura

$$v = 3,9235 \times 8 = 31^m,388.$$

La proportion (a) *donne aussi la force* F *qu'il faut appliquer à un mobile du poids* P *pour lui communiquer une vitesse donnée* v *après un certain temps* t.

Pour les données précédentes, on a d'abord

$$J = \frac{v}{t} = \frac{31,388}{8} = 3^m,9235;$$

puis la proportion devient

$$F : 25 = 3,9235 : 9,8088, \quad \text{d'où} \quad F = \frac{25 \times 3,9235}{9,8088} = 10^k.$$

25. L'*impulsion d'une force* est le produit de son intensité par la durée de son action.

Ainsi, une force de 12^k agissant sur un corps pendant $8''$ produit une impulsion représentée par $12 \times 8 = 96$.

26. Le produit mv de la masse m d'un corps par la vitesse v qu'il possède prend le nom de *quantité de mouvement.*

Le poids d'un corps étant 50^k, d'où il résulte que sa masse est (23) $\frac{1}{g} \times P = 0,102 \times 50 = 5,10$, et la vitesse qu'il possède étant de 30^m, sa quantité de mouvement est représentée par

$$mv = 5{,}10 \times 30 = 153.$$

27. *Égalité entre l'impulsion et la quantité de mouvement.*

Lorsque le mouvement est uniformément accéléré, on a (13), en remarquant que l'accélération $j = \frac{F}{m}$ (22),

$$v = v_0 + \frac{F}{m} t;$$

d'où l'on tire

$$Ft = mv - mv_0. \qquad (a)$$

Ft est l'impulsion; elle a le signe de F.

mv est la quantité de mouvement après le temps t, et mv_0 est la quantité de mouvement au commencement du temps t; ces quantités ont respectivement les signes de v et v_0.

La formule (*a*) fait voir que l'*impulsion et la différence des quantités de mouvement sont toujours égales et de même signe.* Ce que l'on peut énoncer en disant que l'*impulsion est toujours égale au gain ou à la perte de quantité de mouvement.*

Considérant toujours la vitesse initiale v_0 comme positive, il y aura gain de quantité de mouvement lorsque la force F sera positive, c'est-à-dire lorsqu'elle agira dans le sens de v_0, et perte lorsqu'elle sera négative (*Int.*, 1341).

Lorsque $v^0 = 0$, c'est-à-dire quand le corps part du repos, la formule (*a*) devient

$$Ft = mv.$$

Ce qui fait voir encore plus simplement que l'*impulsion d'une force est égale à la quantité de mouvement que cette force communique au corps qu'elle sollicite pendant la durée de son impulsion.*

Trois quelconques des quatre quantités F, t, m, v étant connues, l'équation $Ft = mv$ donne la quatrième.

1[er] exemple. *Trouver la force* F *capable de réduire au repos en* 5″ *un corps dont le poids est* 50[k], *ce corps étant animé d'une vitesse de* 15[m] *par seconde.*

Substituant ces nombres dans la formule, elle devient

$$F \times 5 = 0{,}102 \times 50 \times 15, \quad \text{d'où} \quad F = \frac{0{,}102 \times 50 \times 15}{5} = 15^{k}{,}30.$$

2[e] exemple. *Trouver le temps que mettra une force de* 15[k],30 *pour réduire au repos un corps du poids de* 50[k] *animé d'une vitesse de* 15[m] *par seconde.*

Ces nombres, substitués dans la formule, donnent

$$15{,}30 \times t = 0{,}102 \times 50 \times 15, \quad \text{d'où} \quad t = \frac{0{,}102 \times 50 \times 15}{15{,}30} = 5''.$$

28. *Le travail d'une force se représente par le produit de l'intensité de la force par la projection, sur la direction de la force, de l'espace parcouru par le point d'application.* Ainsi, l'espace parcouru étant rectiligne, on a, en représentant par $\mathcal{T}$ ce travail,

$$\mathcal{T} = F \times E \cos\alpha. \qquad (a)$$

$\mathcal{T}$ travail produit;
F intensité de la force;
E espace parcouru par le point d'application;
α angle que fait la direction de la force avec celle de l'espace parcouru (*Int.* 980).

Quand $\alpha = 0$, c'est-à-dire quand le point d'application se meut dans la direction de la force, on a

$$\cos\alpha = 1, \quad \text{et, par suite,} \quad \mathcal{T} = F \times E.$$

Ainsi, dans ce cas, *le travail est représenté par le produit de la force par l'espace parcouru.*

Intervertissant l'ordre des facteurs dans le second membre de l'équation (*a*), on a

$$\mathcal{T} = E \times F \cos\alpha.$$

Ce qui fait voir que *le travail est aussi représenté par l'espace parcouru* E *multiplié par la projection* $F \cos\alpha$ *de la force sur la direction de cet espace* (*Int.*, 1342 et suivants).

29. La moitié $\frac{1}{2} mv^2$ du produit de la masse m d'un corps par le carré v^2 de la vitesse qu'il possède prend le nom de *force vive*. Des auteurs l'appellent *puissance vive*, et d'autres nomment *force vive* le produit mv^2.

30. Dans le mouvement uniformément accéléré, on a (13 et 14), en faisant $j = \frac{F}{m}$ (22),

$$v = v_0 + \frac{F}{m} t, \quad \text{et} \quad E = E_0 + v_0 t + \frac{1}{2}\frac{F}{m} t^2.$$

Éliminant t entre ces deux équations, il vient (*Int.*, 1346).

$$2\frac{F}{m}(E - E_0) = v^2 - v_0^2;$$

d'où l'on tire, en multipliant les deux membres par $\frac{m}{2}$,

$$F(E - E_0) = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mv_0^2. \qquad (a)$$

$E - E_0$ étant le chemin parcouru pendant l'action de la force F,

$F(E - E_0)$ est le travail $\mathcal{T}$ produit par F pendant cette même durée d'action (28).

$\frac{1}{2} mv_0^2$ étant la force vive au commencement de l'action de la force F, et $\frac{1}{2} mv^2$ la force vive à la fin de cette action, comme de plus les quantités $\frac{1}{2} mv_0^2$ et $\frac{1}{2} mv^2$ sont toujours positives, l'équation (a) fait voir que la quantité de travail est toujours algébriquement égale à la différence obtenue en retranchant la force vive avant l'action de la force de la force vive après l'action; ainsi, considérant comme gain de force vive une différence positive, et comme perte une différence négative, on peut énoncer le principe général des forces vives :

Le travail produit par une force agissant sur un corps est toujours égal au gain ou à la perte de force vive qu'éprouve ce corps pendant l'action de la force.

L'expression du travail d'une force en fonction des forces vives est d'un usage très-fréquent en mécanique (*Int.*, 1347).

31. Dans le cas où $v_0 = 0$ et $E_0 = 0$, c'est-à-dire quand le corps part du repos et que les espaces sont comptés à partir du point de départ, la formule précédente (a) devient

$$\mathcal{T} = FE = \frac{1}{2} mv^2.$$

Remplaçant m par $\frac{P}{g}$ (23), on a

$$\mathcal{T} = FE = \frac{Pv^2}{2g},$$

nouvelle expression du travail, dont on fait usage dans les applications.

32. Comme $\frac{v^2}{2g} = h$, h étant la hauteur correspondant à la vitesse v (19), on a

$$\mathcal{T} = FE = Ph.$$

Le travail produit par une force quelconque est donc égal au poids du corps sollicité multiplié par la hauteur correspondant à la vitesse communiquée à ce corps, c'est-à-dire qu'il est égal au travail qui serait produit par le poids P descendant de la hauteur h, ou à celui qu'il faudrait produire pour élever ce poids à la hauteur h.

33. Ainsi le travail produit par une force quelconque peut toujours être ramené à un poids élevé à une certaine hauteur.

Aussi a-t-on adopté pour *unité de travail*, le travail dû au poids de

un kilogramme élevé à un mètre de hauteur, et on l'a appelé *kilogrammètre*, que l'on représente par $1^{\text{kilog.m.}}$, ou $1^{\text{k m.}}$, ou plus simplement encore 1^{km}.

F étant exprimé en kilogrammes et E en mètres, le travail est donc (32)

$$\mathcal{T} = \text{FE}^{\text{km}}.$$

34. Quand F est exprimé en unités de 1000 kilogrammes, le produit FE représente le travail en unités de 1000^{km}, que l'on appelle *grandes unités dynamiques*.

35. Le produit FE^{km} représente un travail indépendant du temps pendant lequel il a été produit; mais l'on conçoit que pour comparer les puissances dynamiques des forces ou des moteurs quelconques, il faut comparer les travaux produits dans un temps donné; ainsi les forces F et F′ produisant respectivement FE^{km} et $\text{F}'\text{E}'^{\text{km}}$ en une seconde, il en résulte que les puissances dynamiques des deux forces sont entre elles dans le rapport de FE à F′E′.

36. Afin de pouvoir énoncer la puissance dynamique d'une force, ou comparer les effets dynamiques des différentes forces, sans avoir égard au temps, on a adopté une unité de travail dépendant du temps. Cette unité, que l'on appelle *cheval-vapeur*, équivaut à 75^{km} produits dans une seconde; d'où il résulte que si, pour une seconde, $\text{F}'\text{E}' = 75^{\text{km}}$, la puissance dynamique de la force F′ sera de un cheval-vapeur, et, pour le même temps, le rapport $\frac{\text{FE}}{\text{F}'\text{E}'} = \frac{\text{FE}}{75}$ indiquera la puissance dynamique de la force F en chevaux-vapeur.

Le cheval-vapeur est d'un usage continuel pour évaluer la puissance des machines. Quand on dit qu'une machine est de la puissance dynamique de 10 chevaux, par exemple, ou improprement de la force de 10 chevaux, cela veut dire que le travail dynamique produit par la machine en une seconde équivaut à $75 \times 10 = 750^{\text{km}}$.

Le cheval vivant produit moins de 75^{km} par seconde; ainsi un cheval attelé à une voiture et allant au pas, produit moyennement une traction de 70 kilogrammes avec une vitesse de $0^{\text{m}},90$ par seconde; ce qui fait une puissance dynamique de 63^{km} par seconde ou $\frac{63}{75}$ de cheval-vapeur.

De plus, comme un cheval vivant ne peut travailler que 8 heures sur 24, il en résulte que dans un travail continu un cheval-vapeur remplace plus de trois chevaux.

37. *TABLEAU des quantités de travail moyennes et journalières produites par les moteurs animés dans diverses circonstances.*

NATURE DU TRAVAIL.	POIDS élevé ou effort moyen exercé.	VITESSE par seconde.	TRAVAIL par seconde.	DURÉE du travail journalier.	QUANTITÉ de travail journalière.
1° ÉLÉVATION VERTICALE DES POIDS.	kilog.	mètres.	k.m.	heures.	k.m.
Un homme montant une rampe douce ou un escalier, sans fardeau, son travail consistant dans l'élévation du poids de son corps.	65	0.15	9.75	8	280 800
Un manœuvre élevant des poids avec une corde et une poulie, ce qui l'oblige à faire descendre la corde à vide.	18	0.20	3.6	6	77 760
Un manœuvre élevant des poids en les soulevant avec la main.	20	0.17	3.4	6	73 440
Un manœuvre élevant des poids en les portant sur son dos au haut d'une rampe douce ou d'un escalier, et revenant à vide.	65	0.04	2.6	6	56 160
Un manœuvre élevant des matériaux avec une brouette en montant une rampe au 1/12, et revenant à vide.	60	0.02	1.2	10	43 200
Un manœuvre élevant des terres à la pelle à la hauteur moyenne de 1ᵐ,60.	2.7	0.40	1.08	10	38 880
2° ACTION SUR LES MACHINES ET OUTILS.					
Un manœuvre agissant sur une roue à chevilles ou à tambour :					
1° Au niveau de l'axe de la roue;	60	0.15	9	8	259 200
2° Vers le bas de la roue ou à 24°.	12	0.70	8.4	8	241 920
Un manœuvre marchant et poussant ou tirant horizontalement d'une manière continue. . . .	12	0.60	7.2	8	207 360
Un manœuvre agissant sur une manivelle.	8	0.75	6	8	172 800
Un manœuvre exercé poussant et tirant alternativement dans le sens vertical.	6	0.75	4.5	10	162 000
Un cheval attelé à une voiture et allant au pas.	70	0.90	63	10	2 268 000
Un cheval attelé à une voiture et allant au trot	44	2.20	96.8	4.5	1 568 160
Un cheval attelé à un manége et allant au pas	45	0.90	40.5	8	1 166 400
Un cheval attelé à un manége et allant au trot.	30	2.00	60	4.5	972 000

NATURE DU TRAVAIL.	POIDS élevé ou effort moyen exercé.	VITESSE par seconde.	TRAVAIL par seconde.	DURÉE du travail journalier.	QUANTITÉ de travail journalière.
	kilog.	mètres.	k.m.	heures.	k.m.
Un bœuf attelé à un manége et allant au pas	60	0.60	36	8	1 036 800
Un mulet attelé à un manége et allant au pas.	30	0.90	27	8	777 600
Un âne attelé à un manége et allant au pas.	14	0.80	11.2	8	322 560
2° TRANSPORT HORIZONTAL DES POIDS.					
Un homme marchant sur un chemin horizontal, sans fardeau, son travail consistant dans le transport du poids de son corps.	65	1.50	97.5	10	3 510 000
Un manœuvre transportant des matériaux dans une petite charrette ou camion à deux roues, et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	100	0.50	50	10	1 800 000
Un manœuvre transportant des matériaux dans une brouette, et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	60	0.50	30	10	1 080 000
Un homme voyageant en transportant des fardeaux sur son dos.	40	0.75	30	7	756 000
Un manœuvre transportant des matériaux sur son dos, et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	65	0.50	32.5	6	702 000
Un manœuvre transportant des fardeaux sur une civière, et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	50	0.33	16.5	10	594 000
Un manœuvre employé à jeter de la terre au moyen de la pelle, à 4 mèt. de distance horizontale.	2.7	0.68	1.8	10	64 800
Un cheval transportant des fardeaux sur une charrette, et marchant au pas continuellement chargé.	700	1.10	770	10	27 720 000
Un cheval attelé à une voiture, et marchant au trot continuellement chargé.	350	2.20	770	4.5	12 474 000
Un cheval transportant des fardeaux sur une charrette, au pas, et revenant à vide chercher de nouvelles charges. . .	700	0.60	420	10	15 120 000
Un cheval chargé sur le dos et allant au pas.	120	1.10	132	10	4 752 000
Un cheval chargé sur le dos et allant au trot.	80	2.20	176	7	4 435 000

Les résultats de la troisième partie de ce tableau expriment d effets utiles proprement dits, c'est-à-dire que le poids des machin ou outils qui ont servi au transport ne sont pas compris dans l nombres qui indiquent les charges traînées; de plus, ces résulta supposent les routes d'une viabilité ordinaire.

38. *Les moteurs animés peuvent faire varier, dans de certaine limites, l'effort produit, la vitesse et la durée du travail journalier* mais l'expérience prouve qu'un tel moteur fournit le maximun d'effet journalier : 1° quand l'effort qu'il produit varie du 1/3 au 1/5 de celui qu'il pourrait produire, sans vitesse, pendant un temps peu prolongé; 2° quand la vitesse varie du 1/4 au 1/6 pour l'homme, et du 1/12 au 1/15 pour le cheval, de la plus grande vitesse que ces moteurs pourraient prendre, pendant un temps peu prolongé, en ne produisant aucun effort; 3° quand la durée du travail journalier varie de 1/2 au 1/3 du temps le plus prolongé pendant lequel le travail peut être constamment soutenu, sans nuire à la santé de l'homme ou des animaux; ce temps ne peut dépasser dix-huit heures par jour, quelque petite que soit la tâche journalière, ne consisterait-elle qu'en une présence constante sur les ateliers.

39. *Voici quelques résultats que nous extrayons du Traité des moteurs, par* M. Courtois, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Un homme d'une taille médiocre et d'une force ordinaire pèse 70 kilogrammes, y compris ses vêtements.

Le plus grand effort qu'il puisse exercer en tirant ou poussant horizontalement est de 50 à 60 kilogrammes.

L'effort que l'homme peut exercer avec les bras est d'environ 80 kilogrammes.

Le plus grand poids qu'il peut porter est ordinairement 150 kilogrammes, et s'élève parfois à 450 kilogr.; celui qu'il peut soulever varie de 200 à 300 kilogr.

La vitesse du coureur peut être de 13 mètres par seconde pendant quelques instants; la vitesse ordinaire est de 7 mètres, celle de la marche d'environ 2 mètres, et celle du voyageur 1m,60.

La force moyenne des femmes est égale à celle d'un adulte de 15 à 16 ans, et ne surpasse pas les deux tiers de celle de l'homme.

Un ouvrier exercé, de même force qu'un autre, fait souvent un travail double et même triple sans éprouver plus de fatigue.

Un manœuvre qui monte un escalier sans charge prend, pendant un travail journalier de 8 heures, une vitesse de 0m.15.

Le pas horizontal de l'homme est de 0m.65. La plus grande hauteur verticale que l'homme qui travaille puisse franchir sans gêne est de 0m.25.

Le soldat chargé de 15 à 20 kilogrammes, sur un beau chemin en pays de plaine, peut parcourir 49 kilomètres en 10 heures de marche par jour. La marche ordinaire de nos armées varie de 28 à 36 kilomètres par jour; pendant les guerres du premier empire français, cette vitesse a même atteint quelquefois 48 et même 60 kilomètres.

Un colporteur chargé de 44 kilogrammes parcourt 20 kilomètres par jour.

Les portefaix de Rive-de-Gier qui chargent les bateaux portent un hectolitre de houille de 85 kilogrammes à 36 mètres, et font de 290 à 300 voyages par jour.

D'après Coulomb, un homme qui porte des fardeaux à une assez grande distance et revient à vide, peut porter 61k.25, et parcourir dans sa journée 44 kilomètres avec cette charge, et par conséquent la même distance à vide.

Sur un sol horizontal, un homme transporte, dans sa journée de 10 heures, en 500 brouettées de 60 kilogrammes, 20 mètres cubes de terre à 30 mètres.

D'après Coulomb, le travail utile maximum d'un homme qui monte en portant une charge de 65 à 70 kilogrammes n'est que le 1/4 du travail qu'il peut produire lorsqu'il monte libre et sans charge.

Dans des terrassements exécutés au fort de Vincennes, où l'homme élevait les matériaux par le poids de son corps, chaque manœuvre élevait dans sa journée 310 fois le poids de son corps à 13 mètres de hauteur.

Le poids des chevaux varie de 300 à 700 kilogrammes; il existe même des petits chevaux, appelés *poneys*, dont le poids est à peine de 200 kilogrammes. Celui des chevaux de malles-postes ou de diligences est ordinairement de 450 kilogrammes.

Le plus grand effort des chevaux de trait varie de 300 à 500 kilogrammes.

La plus grande vitesse que puisse prendre un cheval dans une course d'un quart d'heure ne dépasse pas 14 à 15 mètres (courses du Champ-de-Mars); la vitesse du cheval au galop est de 10 mètres; au trot, elle est de 3m.50 à 4 mètres; au grand pas, de 2 mètres, et au petit pas, de 1 mètre.

Les chevaux de malles-postes traînent 500 kilogrammes à la vitesse de 4m.44, et parcourent 20 kilomètres par jour; ceux des diligences, 800 kilogrammes à la vitesse de 3m.33, et parcourent 24 kilomètres; ceux des chasses-marées, 560 kilogrammes à la vitesse de 2m.20, et parcourent 32 kilomètres.

Sur le dos, la charge du cheval est moyennement de 100 à 175 kilogrammes; les pelletiers anglais la portent quelquefois à 200 ou 250 kilogrammes à une faible vitesse.

Un cheval portant son cavalier du poids de 80 kilogrammes et marchant pendant 7 heures parcourt 40 kilomètres, ce qui donne une vitesse de 1m.59.

40. Le tableau suivant, qui donne le rapport de l'effort de tirage à la charge traînée, voiture comprise, sur les différentes espèces de chemins, permet de comparer l'*effet utile* produit par les moteurs animés, dans le transport horizontal des fardeaux sur ces chemins, au travail dépensé par ces moteurs. Ce tableau est le résultat des expériences de MM. Boulard, Rumford, Régnier et de quelques autres observateurs.

NATURE DE LA VOIE SUPPOSÉE HORIZONTALE.	RAPPORT du tirage à la charge totale.
Terrain naturel, non battu et argileux, mais sec	0.250
Id. *id.* siliceux et crayeux	0.165
Terrain ferme battu et très-uni	0.040
Chaussée en sable ou cailloutis nouvellement placés	0.125
Id. en empierrement, à l'état d'entretien ordinaire	0.080
Id. *id.* parfaitement entretenu et roulante	0.033
Id. pavée à la manière ordinaire, et la voiture étant suspendue, au pas	0.030
Id. pavée à la manière ordinaire, et la voiture étant suspendue, au grand trot	0.070
Id. pavée en carreaux de grès bien entretenus, au pas	0.025
Id. pavée en carreaux de grès bien entretenus, au grand trot	0.060
Id. en madriers de chêne non rabotés	0.022
Chemins à ornières plates, en fonte de fer, ou en dalles très-dures et très-unies	0.010
Chemins de fer à ornières saillantes, en bon état d'entretien	0.007
Id. *id.* parfaitement entretenues, et les essieux continuellement huilés	0.005

Le poids de la voiture varie ordinairement entre le 1/3 et le 1/4 de la charge totale.

41. *TABLEAU des rapports de la force de tirage à la c…*

DÉSIGNATION DE LA ROUTE PARCOURUE PAR LA VOITURE.	VALEURS de	AFF… et charr… d'artill…
	$l=$ $r=$ $r'=$ $r''=$ $fr=$	0m.10 à … 0m.0… 0m.7… 0m.7… 0.003…
Accotement en terre, en très-bon état, à peu près sec.		0.02
Accotement solide recouvert d'une couche de gravier de 0m.03 à 0m.04 d'épaisseur.		0.07
Accotement solide recouvert d'une couche de gravier de 0m.05 à 0m.06 d'épaisseur.		0.08
Sol en terre ferme recouvert de 0m.10 à 0m.15 de gravier, ou route neuve. . . .		0.09
Accotement ou route couverte de neige non frayée.		0.05
Sol en terre ferme, recouvert d'une couche de sable fin mêlé de gravier de 0m.10 à 0m.15 d'épaisseur.		0.0…
Route en empierrement, en très-bon état, très-sèche et très-unie.		p. 0.0… t. 0.0…
Route en empierrement, un peu humide ou couverte de poussière, avec quelques cailloux à fleur du sol.		0.0…
Route en empierrement, très-solide, avec gros cailloux à fleur du sol		0.0…
Route en empierrement, solide, avec frayé léger et boue molle.		0.0…
Route en empierrement, solide, avec ornières et boue.		0.0…
Route en empierrement, avec détritus et boue épaisse.		0.0…
Route en empierrement, très-dégradée, ornières profondes de 0m.06 à 0m.08, boue épaisse.		0.0…
Route en empierrement, très-mauvaise, ornières profondes de 0m.10 à 0m.12, boue épaisse, fond dur et inégal.		0.0…
Pavé en grès de Sierck serré.		0.…
Pavé en grès de Fontainebleau, ordinaire sec.		0.…
Pavé en grès de Fontainebleau, en état ordinaire, mouillé et couvert de boue.		0.…
Tablier de pont en madriers.		0.…

l largeur de la jante ;
r rayon des essieux ;
r' rayon des petites roues ;
r'' rayon des grandes roues ;
f coefficient de frottement de l'essieu ;

de traînée, d'après les expériences de M. Morin.

CHARIOTS d'artillerie.	CHARIOTS comtois.	VOITURES DE ROULAGE.		CHARRETTES.		DILIGENCES des grandes messageries.	VOITURES à bancs suspendus.
$0^{m}.070$ à $0^{m}.075$	$0^{m}.06$ à $0^{m}.07$	$0^{m}.10$ à $0^{m}.12$	$0^{m}.10$ à $0^{m}.12$	$0^{m}.10$ à $0^{m}.12$	$0^{m}.10$ à $0^{m}.12$	$0^{m}.10$ à $0^{m}.12$	$0^{m}.07$ à $0^{m}.08$
$0^{m}.036$	$0^{m}.027$	$0^{m}.032$	$0^{m}.032$	$0^{m}.032$	$0^{m}.032$	$0^{m}.032$	$0^{m}.027$
$0^{m}.575$	$0^{m}.625$	$0^{m}.450$	$0^{m}.55$	$0^{m}.80$	$1^{m}.00$	$r'+r''=$	$0^{m}.48$
$0^{m}.730$	$0^{m}.725$	$0^{m}.750$	$0^{m}.83$	-	.	$1^{m}.15$	$0^{m}.70$
0.00147	0.00173	0.00208	0.00208	0.00208	0.00208	0.00208	0.00175
0.033	0.032	0.037	0.034	0.028	0.022	*p. t.* 0.038	*p. t.* 0.038
0.085	0.084	0.095	0.081	0.071	0.057	*p. t.* 0.099	*p. t.* 0.099
0.099	0.099	0.112	0.096	0.084	0.067	*p. t.* 0.116	*p. t.* 0.116
0.107	0.106	0.120	0.103	0.090	0.071	*p. t.* 0.125	*p. t.* 0.125
0.062	0.061	0.070	0.060	0.053	0.042	0.073	»
0.123	0.112	0.127	0.109	0.095	0.076	*p. t.* 0.133	*p. t.* 0.145
0.018	0.017	0.020	0.017	0.015	0.012	*p.* 0.021 *t.* 0.024 *g. t.* 0.025	*p.* 0.020 *t.* 0.024 *g. t.* 0.025
0.026	0.024	0.028	0.024	0.021	0.017	*p.* 0.030 *t.* 0.037 *g. t.* 0.041	*p.* 0.029 *t.* 0.037 *g. t.* 0.041
0.021	0.020	0.023	0.020	0.018	0.014	*p.* 0.025 *t.* 0.038 *g. t.* 0.044	*p.* 0.024 *t.* 0.037 *g. t.* 0.044
0.033	0.032	0.037	0.034	0.028	0.022	*p.* 0.038 *t.* 0.046 *g. t.* 0.050	*p.* 0.038 *t.* 0.045 *g. t.* 0.049
0.041	0.040	0.045	0.039	0.034	0.027	*p.* 0.048 *t.* 0.054 *g. t.* 0.058	*p.* 0.047 *t.* 0.054 *g. t.* 0.058
0.048	0.047	0.053	0.046	0.040	0.032	*p.* 0.056 *t.* 0.063 *g. t.* 0.067	*p.* 0.055 *t.* 0.063 *g. t.* 0.067
0.063	0.063	0.070	0.060	0.053	0.042	*p.* 0.073 *t.* 0.084 *g. t.* 0.085	*p.* 0.072 *t.* 0.080 *g. t.* 0.084
0.070	0.069	0.079	0.067	0.059	0.047	*p.* 0.082 *t.* 0.095	*p.* 0.081 *t.* 0.100
0.014	0.013	0.016	0.013	0.012	0.009	*p.* 0.016 *t.* 0.024 *g. t.* 0.028	*p.* 0.016 *t.* 0.024 *g. t.* 0.027
0.015	0.014	0.017	0.014	0.012	0.010	*p.* 0.017 *t.* 0.026 *g. t.* 0.031	*p.* 0.017 *t.* 0.026 *g. t.* 0.030
0.020	0.019	0.022	0.019	0.016	0.013	*p.* 0.023 *t.* 0.030 *g. t.* 0.034	*p.* 0.022 *t.* 0.030 *g. t.* 0.033
0.021	0.020	0.023	0.020	0.014	0.014	*p. t.* 0.024	*p. t.* 0.024

fr moment du frottement de l'essieu;
p signifie au pas;
t *id.* au trot;
g. t. *id.* au grand trot;
p. t. *id.* au pas et au trot.

42. *TABLEAU des efforts qu'un manœuvre de force ordinaire peut exercer pendant un court intervalle de temps, en agissant sur différents outils.*

DÉSIGNATION DES INSTRUMENTS.	EFFORT en kilogrammes.
Une plane.	45
Une tarrière avec les deux mains.	45
Une clef d'écrou.	38
Un étau ordinaire en agissant sur la clef.	33
Un ciseau ou un foret dans le sens vertical.	33
Une manivelle.	30
Une tenaille ou une pince, en agissant par compression.	27
Un rabot à main.	23
Un étau à main.	20
Une scie à main.	16
Un vilebrequin.	7
Un petit tournevis, ou en tournant avec le pouce et les doigts. . .	6

PESANTEURS SPÉCIFIQUES.

43. La *densité* ou la *pesanteur spécifique*, ou encore le *poids spécifique d'un corps est le rapport du poids de l'unité de volume de ce corps au poids de l'unité de volume d'un autre corps pris pour terme de comparaison*. L'eau distillée à son maximum de densité, c'est-à-dire à la température de 4° environ, étant prise pour terme de comparaison, ce que l'on fait le plus habituellement dans la pratique, adoptant le décimètre cube pour unité de volume, comme un décimètre cube de cette eau pèse 1 kilog., il en résulte que *la densité d'un corps est exprimée par le nombre de kilogrammes que pèse le décimètre cube de ce corps.*

De cette hypothèse, il résulte qu'en général on a

$$d = \frac{P}{V}, \quad \text{d'où} \quad P = dV \quad \text{et} \quad V = \frac{P}{d}.$$

d densité;
P poids du corps en kilogrammes;
V volume du corps en décimètres cubes.

Applications : 1[re] Le poids d'un morceau de fer est $35^{k},046$ et son volume $1^{d.c.},5$; quelle est sa densité?

La première des formules précédentes donne

$$d = \frac{35,046}{4,5} = 7,788.$$

2° Quel est le poids d'un morceau de fer dont le volume est $4^{d.c.},5$? La densité du fer étant 7,788, la 2° des formules précédentes donne

$$P = 7,788 \times 4,5 = 35^{k},046.$$

3° Pour $P = 35^{k},046$ et $d = 7,788$, la 3° des formules précédentes donne

$$V = \frac{35,046}{7,788} = 4^{d.c.},5.$$

44. *Remarques :* 1° Dans la pratique, on peut, sans inconvénient, supposer que la densité de l'eau ordinaire est égale à l'unité, au lieu de 0,9987 qu'elle est moyennement dans nos climats, et, de plus, aux températures ordinaires de l'atmosphère, on peut, sans erreur sensible, négliger l'influence de la dilatation sur la densité des corps.

2° Pour les gaz et les vapeurs, on prend pour unité de densité la densité de l'air à la température de 0° et sous la pression atmosphérique de $0^{m},76$ de mercure. Il en résulte que P étant le poids d'un volume V de gaz ou de vapeur dont la densité est d par rapport à l'air, on a, $0^{k},001293$ étant le poids d'un décimètre cube d'air,

$$P = Vd \times 0,001293.$$

Par rapport à l'eau, la densité de l'air à 0° et sous la pression $0^{m},76$ est, d'après MM. Biot et Arago, $\frac{1}{770} = 0,001299$, et plus rigoureusement, 0,001299541; par rapport au mercure, elle est $\frac{1}{10366} = 0,000096$.

D'après les expériences plus récentes de M. Regnault, 1 litre d'air à 0° et sous la pression de $0^{m},76$ pèse $1^{g},293187$; 1 litre d'eau au maximum de densité pèse $1000^{g},00$, et le poids de 1 litre de mercure à 0° est $13595^{g},93$. Par rapport à l'eau, la densité de l'air à 0° et sous la pression $0^{m},76$ est 0,001293187, et par rapport au mercure, elle est 0,0000951 (consulter le tableau suivant) :

45. *TABLEAU des densités de quelques corps, celle de l'eau à 4°, étant prise pour unité.*

SOLIDES.			
CORPS SIMPLES.	Densité.		Densité.
Platine.	21.53	Mercure à 0°.	13.596
— laminé.	22.06	Palladium.	11.30
Or forgé.	19.36	— laminé.	11.80
— fondu.	19.26	Plomb fondu.	11.35
— monnaie de France.	17.65	Rhodium.	11.00 ?
Iridium fondu par une batterie électrique.	18.68	Argent fondu.	10.47
		— monnaie de France.	10.421
Tungstène.	17.60	Osmium.	10.00 ?

SOLIDES (*Suite*).

	Densité.
Carbonate de plomb	6.729
Malachite.	3.590
Sulfate de strontiane. . . .	2.959
Aragonite.	2.947
Carbonate de chaux.	2.723
Quartz.	2.654
Gypse.	2.332
PIERRES PRÉCIEUSES.	
Zircon.	4.505
Grenat almandin . . 3.9 à	4.236
— grossulaire. 3.550 à	3.730
Malachite.	4.008
Saphir oriental.	3.979
Émeraude orientale.	3.949
— du Pérou (aigue marine). . . .	2.732
Améthyste orientale.	3.921
Rubis oriental.	3.909
Cymophane du Brésil. . . .	3.733
— de Sibérie. . . .	3.689
Spinelle. . . . . . 3.523 à	3.585
Diamant.	3.55
Topaze.	3.499
Idocrase vésuvienne.	3.420
Dioptase	3.278
Tourmaline.	3.073
Lapis lazuli.	2.959
Turquoise.	2.836
Jaspe, onyx, agate. 2.6 à	2.7
Béryl.	2.678
Opale.	2.092
CHARBONS FOSSILES.	
Graphite pur.	2.328
Anthracite . . . . 1.343 à	1.462
Houille grasse à longue flamme. . . . . 1.276 à	1.363
Houille sèche à longue flamme.	1.362
Houille grasse et dure, 1,315 à	1.322
Houille grasse maréchale, 1.280 à	1.302
Lignite parfait. . 1.254 à	1.351
— passant au bitume, 1.157 à	1.197
— imparfait, 1.100 à	1.185
Jayet. . . . . . . 1.305 à	1.316
Bitume rouge	1.160
— noir	1.073
— brun.	0.828
Asphalte	1.063

AÉROLITHES tombés à	Densité.
Klein-Wenden. . (1843). . .	3.701
Chantonnay. . . (1812). . .	3.67
Utrecht. . . . . (1843). . .	3.61
Château-Renard (1841). . .	3.54
Juvenas. . . . . (1821). . .	3.11
Alais. . . . . . (1806). . .	1.70
FER MÉTÉORIQUE.	
de Lenarto.	7.79
de Caille (Var).	7.64
du Cap.	7.544
du Pérou.	7.355
d'Alabama.	7.265
de Black-Mountain.	7.264
ALLIAGES.	
Plomb 87, platine 13. .	12.207
— 96, or 4. .	11.304
— 62, bismuth 38. .	11.037
— 49, — 51. .	10.790
— 35, — 65. .	10.403
— 74, argent 26. .	10.743
— 75, antimoine 25. .	10.101
— 65, — 35. .	10.064
— 44, — 56. .	8.946
— 35, — 65. .	8.499
— 69, étain 31. .	10.073
— 64, — 36. .	9.408
— 43, — 57. .	8.760
— 33, — 67. .	8.378
— 75, zinc 25. .	9.430
— 68, — 32. .	9.043
— 41, — 59. .	8.397
— 24, — 76. .	7.910
Argent 90, cuivre 10. .	10.121
— 62, — 38. .	9.603
Métal de Darcet.	9.795
Bronze des canons, 8.441 à	9.235
— antique.	9.200
— de tamtam.	8.813
— trempé..	8.686
Étain 33, bismuth 67. .	8.685
— 48, cuivre 52. .	8.531
— 61, — 39. .	8.332
— 94, argent 6. .	7.494
— 77, zinc 23. .	7.366
— 63, — 37. .	7.143
— 26, — 74. .	6.957
— 21, antimoine 79. .	7.211
— 60, — 40. .	7.052
Tombac.	8.655
Zinc 16, cuivre 84.	8.653
— 33, — 67.	8.606

SOLIDES (*Suite*).

	Densité.
Zinc 43, cuivre 57.	8.340
— 50, — 50.	8.265
— 77, — 23.	7.301
Cuivre jaune.	8.427
Maillechort.	8.615
VERRES.	
Silicate triplombique.	6.720
— biplombique.	6.620
— sesquiplombique.	5.895
— plombique.	5.331
Borate de plomb.	5.709
Flint Faraday.	5.431 4.358
— lourd.	4.056
— de Guinand.	3.589
Cristal.	3.330
Crown de Clichy.	2.657
— de M. Feil.	2.629
— ordinaire.	2.447
Verre à vitres.	2.527
— opalin.	2.525
— à glaces.	2.463
— commun, base de potasse.	2.460
— fin, *id.*	2.454
— commun, base de soude.	2.451
— fin, *id.*	2.436
— soluble.	1.250
KAOLIN ET PORCELAINE.	
Porcelaine de Sèvres, dégourdie.	2.619
— — cuite.	2.242
— de Berlin, dégourd.	2.613
— — cuite.	2.452
— de Saxe.	2.493
— de Chine.	2.384
Kaolin. 2.21 à	2.26
MATÉRIAUX POUR LES CONSTRUCTIONS OU LA STATUAIRE.	
Basalte. 2.45 à	2.85
Marbre de Paros.	2.838
— d'Afrique.	2.798
— de Sibérie.	2.728
— des Pyrénées.	2.726
— de Carrare.	2.717
— d'Égypte, vert.	2.668
— français.	2.649
— florentin jaune	2.516
Granit 2.64 à	2.76

	Densité.
Porphyre. 2.67 à	2.75
Albâtre calcaire.	2.758
— gypseux.	2.314
Grès, en moyenne.	2.5
Pierre de liais. 2.25 à	2.45
— à plâtre.	2.20
— à bâtir grossière, 1.70 à	1.90
Brique rouge.	2.17
— dure très-cuite	1.56
Ardoise.	2.114
BOIS.	
Grenadier	1.35
Buis de Hollande.	1.32
— de France.	0.91
Ébène	1.125
— vert.	1,210
— noir.	1.187
Chêne de 60 ans (le cœur).	1.17
— anglais.	0.934
— du Canada.	0.872
— à glands sessiles, 20 p. 100 d'humidité.	0.872
— à glands pédonculés, 20 p. 100 d'hum.	0.808
— de démolition.	0.732
— (d'après Karmarsch).	0.610
Arbousier.	1.035
Bois de rose.	1.031
Satin.	0.964
Noyer vert.	0.920
— brun.	0.685
Mûrier d'Espagne.	0.89
Prunier.	0.872
Teak.	0.860
Acajou d'Espagne.	0.852
— de Saint-Domingue	0.755
— de Cuba.	0.563
— de Honduras.	0.560
Hêtre 0.750 à	0.852
— à 20 p. 100 d'humidité.	0.823
— d'un an de coupe.	0.650
Frêne, d'après Brisson.	0.845
— 20 p. 100 d'humidité, d'après MM. Chevandier et Wertheim.	0.697
Acacia vert.	0.820
— à 20 p. 100 d'humid.	0.717
Bouleau. 0.720 à	0.738
— à 20 p. 100 d'humidité.	0.812
If. 0.744 à	0.807

SOLIDES (*Suite*).

	Densité.
Orme	0.553
— vert	0.763
— à 20 p. 100 d'humidité	0.723
Charme : 20 p. 100 d'hum.	0.756
Pin du Nord	0.738
— rouge	0.657
— laryx de choix	0.640
— sylvestre, à 20 p. 100 d'humidité	0.559
— blanc	0.553
Pommier	0.734
Poirier	0.732
Oranger	0.705
Olivier	0.676
Érable	0.645
— 20 p. 100 d'humidité	0.674
Sorbier	0.673
Cyprès, un an de coupe	0.664
Sapin jaune	0.657
— blanc d'Angleterre	0.555
— — d'Écosse	0.529
— 20 p. 100 d'humidité	0.493
Platane	0.648
Tilleul	0.604
Tremble : 20 p. 100 d'hum.	0.602
Aune	0.555
— 20 p. 100 d'hum.	0.601
Sycomore	0.590
Cèdre du Liban sec, 0.486 à	0.575
Mélèze	0.543
Peuplier	0.387
— blanc	0.511
— 20 p. 100 d'hum.	0.477
Saule	0.487
Liége	0.240
Moelle de sureau	0.076

CHARBON DE BOIS.

1° *En poudre.*	
Saule	1.55
Chêne	1.53
Aune	1.49
Tilleul	1.46
Peuplier	1.45
2° *En morceaux.*	
Noyer	0.625
Frêne	0.547
Hêtre	0.518

	Densité.
Charme	0.455
Pommier	0.455
Chêne blanc	0.421
Cerisier	0.411
Bouleau	0.364
Orme	0.357
Pin jaune	0.333
Châtaignier	0.279
Peuplier	0.245
Cèdre	0.238
Poudre à fusil	2.189
— à canon	2.085

SUBSTANCES DIVERSES DU RÈGNE VÉGÉTAL.

Coton	1.949
Lin	1.792
Amidon	1.529
Fécule	1.502
Gomme myrrhe	1.360
— adragante	1.316
— sang-dragon	1.204
— sandaraque	1.092
— mastic	1.074
Résines : Jalap	1.218
— Gaïac	1.205
— Benjoin	1.092
— Colophane	1.07
Succin opaque	1.086
— transparent	1.078
Caoutchouc	0.989
Gutta-percha	0.966

SUBSTANCES DIVERSES DU RÈGNE ANIMAL.

Perles 2.684 à	2.750
Corail	2.689
Os 1.799 à	1.997
Laine	1.614
Tendon 1.105 à	1.132
Cartilage	1.088
Cristallin	1.079
Corps humain	1.066
Nerf	1.040
Cire	0.963
Blanc de baleine	0.943
Beurre	0.942
Graisse de porc	0.937
— de mouton	0.924

LIQUIDES.

	Densité.
Eau distillée.	1.000
— de la mer.	1.026
Mercure à 0°.	13.596
Brome	2.966
Acide sulfurique, au maximum de concentration.	1.841
— — concentré dans les chaudières en plomb, environ.	1.75
— — sortant des chambres en plomb. 1.35 à	1.50
— hyposulfurique. . . .	1.347
— azotique fumant.. . .	1.451
— hypo-azotique.. . . .	1.451
— azotique quadrihydraté.	1.42
— — du commerce.	1.22
— lactique très-concentré..	1.22
— chlorhydrique liquide concentré.	1.208
— acétique au maximum de densité.	1.079
— — monohydraté.	1.063
— butirique.	0.963
— oléique.	0.898
— cyanhydrique.	0.696
Protochlorure de soufre.. .	1.680
Chlorure d'azote.	1.653
Acide azoteux.	1.550
Chloroforme..	1.525
Chlorure de silicium. . . .	1.52

	Densité.
Liqueur des Hollandais. . .	1.280
Sulfure de carbone.	1.263
Huile de Spiræa.	1.173
— de lin.	0.94
— de pavot.	0.93
— de navette.	0.919
— d'olive..	0.915
— de naphte ou pétrole..	0.84
— de pomme de terre. .	0.818
Essence d'amandes amères..	1.043
— de cannelle.	1.010
— de cumin.	0.969
— de térébenthine.. .	0.869
— de citron.	0.847
Lait.	1.03
Éther azotique..	1.112
— azoteux.	0.886
— sulfureux.	1.085
— sulfurique..	0.715
— chlorhydrique . . .	0.874
— acétique	0.868
Vin de Bordeaux.	0.994
— de Bourgogne.	0.991
Alcool au max. de densité (hyd. de Rudberg).	0.927
— du commerce. . . .	0.84
— absolu.	0.792
Esprit de bois	0.798
Mercaptan..	0.840
Bitume liquide, dit naphte..	0.847
Acétal pur.	0.844
Acétone.	0.792
Aldéhyde.	0.790

DENSITÉS de quelques gaz à 0° et sous la pression 0m.76, celle de l'air étant 1.

Air à 0° et 0m,76.	1.000
Acide tellurhydrique	4.490
— iodhydrique.	4.443
— fluosilicique.	3.573
— chloroborique.	3.420
— chlorocarbonique. . .	3.399
— hypochloreux de Balard.	2.980
— sélenhydrique.	2.795
— bromhydrique.. . . .	2.734
— fluoborique.	2.371
— sulfureux.	2.234
— carbonique.	1.529
— chlorhydrique.. . . .	1.247
— formique.	1.235
— sulfhydrique..	1.191
Chlorure de bore.	4.035

Fluorure de silicium. . . .	3.573
Hydrogène arsénié.	2.695
— bicarboné de Faraday.	1.920
— bicarboné (gaz oléfiant). . . .	0.978
— phosphoré. . . .	1.214
— carboné des marais.	0.555
Hydrogène	0.069
Chlore.	2.470
Oxyde de chlore ou acide hypochlorique	2.340
Fluorure de bore.	2.371
Chlorure de cyanogène. . .	2.116
Cyanogène.	1.806
Chlorhydrate de méthylène.	1.731

GAZ (*Suite*).

	Densité.		Densité.
Monhydrate de méthylène. .	1.617	Azote.	0.971
Fluorhydrate de méthylène. .	1.186	Oxyde de carbone.	0.957
Protoxyde d'azote.	1.520	Ammoniaque.	0.596
Bioxyde d'azote.	1.038	Méthylène.	0.490
Oxygène.	1.1056		

POIDS du litre de quelques gaz à 0° et sous la pression 0m.76, d'après M. Regnault.

	Gramm.		Gramm.
Acide carbonique.	1.977414	Azote.	1.256167
Oxygène.	1.429802	Hydrogène	0.089578
Air.	1.293187		

DENSITÉS de quelques vapeurs ramenées par le calcul à 0° et à la pression 0m.76, celle de l'air à 0° et à la pression 0m.76 étant 1.

	Densité.		Densité.
Iodure d'arsenic	16.10	Soufre	6.617
Biiodure de mercure	15.600	Chlorure solide de cyanogene.	6.39
Acide arsénieux.	13.850	Chlorure d'arsenic	6.30
— benzoïque.	4.27	Chlorure de silicium	5.939
— sélénieux.	4.030	Peroxychlorure de chrome. .	5.90
— valerique.	3.68	Brome.	5.540
— butyrique	3.09	Sulfure de mercure (cinabre)	5.5
— sulfurique anhydre. .	3.00	Éther hydriodique	5.474
— acetique.	2.77	— benzoïque.	5.409
— fluoborique.	2.312	— oxalique	5.087
— chlorocyanique. . . .	2.122	— acetique.	3.067
— hypo-azotique.	1.720	— sulfurique	2.586
— formique.	1.554	— hydrochlorique. . . .	2.219
— azotique quadrihydraté.	1.270	Camphre.	5.468
— cyanhydrique.	0.947	Essence de cumin.	5.20
Bibromure de mercure . . .	12.16	— de cannelle. . . .	4.62
Protochlorure de bismuth. .	11.1	Protochlorure de phosphore.	4.87
Arsenic.	10.60	Essence de térébenthine. . .	4.763
Protobromure de mercure. .	10.14	Chlorure de soufre jaune. .	4.70
Bichlorure de mercure. . .	9.80	— — rouge. .	3.70
Bichlorure d'etain.	9.199	Cyanure de cacodyle. . . .	4.63
Iode	8.716	Sulfate de méthylène. . . .	4.565
Protochlorure de mercure, sublimé corrosif	8.35	Chlorure de cacodyle. . . .	4.56
Sous-chlorure de mercure, calomel.	8.196	Naphtaline.	4.528
Protochlorure d'antimoine. .	7.8	Phosphore	4.420
Oxyde de cacodyle	7.55	Hydrure de salycile.	4.27
Cacodyle.	7.1	Chlorure de bore.	3.942
Mercure.	6.976	Essence d'amandes amères.	3.798
Perchlorure de titane. . . .	6.836	Perchlorure de phosphore. .	3.66
		Bromure de cyanogène. . .	3.64

VAPEURS (*Suite*).			
	Densité.		Densité.
Liqueur des Hollandais. . .	3.45	Mercaptan	2.326
Hydrobicarbonate de chlore.	3.443	Acétone.	2.019
Nitreuse	3.180	Alcool.	1.613
Huile de pomme de terre. .	3.147	Aldéhyde.	1.532
Benzine.	2.77	Esprit de bois	1.120
Hydrogène arseniqué. . . .	2.695	Air.	1.000
Sulfure de carbone.	2.644	Carbone.	0.890
Acétate de méthylène. . . .	2.563	Eau.	0.6235

Dans la pratique, on peut admettre que la densité de la vapeur d'eau, à une pression quelconque, est les 4/5 de celle de l'air à la même température et à la même pression.

48. *TABLEAU du poids d'un mètre cube de divers corps dont les densités n'ont pu être déterminées d'une manière aussi précise que pour les précédents.*

M. PONCELET, *Introduction à la mécanique industrielle.*			
DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.	DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.
	kil.		kil.
Pierre à plâtre ordinaire. . .	2 168	Sable terreux	1 700
Gypse ou plâtre fin	2 264	Terre végétale légère	1 400
Pierre meulière	2 484	Terre argileuse	1 600
Marbre noir et blanc.	2 717	Terre glaise.	1 900
Briques { les plus cuites. .	2 200	Maçonnerie de moellons ordinaires, de 1 700 kil. à. . .	2 300
Briques { les moins cuites. .	1 500		
Tuiles ordinaires.	2 000	Chêne le plus pesant, le cœur.	1 170
Sable pur.	1 900	Chêne le plus léger, sec . . .	850

GÉNIEYS, *Recueil de tables.*		
DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube. de	à
1° *Substances d'origine minérale.*	kil.	kil.
Eau. . . . { distillée et de pluie.	»	1 000
Eau. . . . { de rivière, environ.	»	1 000
Eau. . . . { de puits.	1 000	1 044
Eau. . . . { de mer.	1 028	1 042
Terre ou sable de bruyère.	644	648

SOLIDES (*Suite*).

	Densité.
Bismuth.	9.822
Cuivre laminé ou forgé.	8.95
— fondu.	8.85
Cadmium écroui.	8.69
Nickel forgé.	8.666
— fondu.	8.279
Molybdène.	8.60
Manganèse.	8.013
Acier forgé.	7.840
— doux.	7.833
— trempé.	7.816
— fondu ressuit.	7.719
— — étiré.	7.717
— Wootz.	7.665
Cobalt fondu.	7.812
Fer.	7.788
Fer fondu.	7.200
Étain.	7.291
Zinc.	7.19
Antimoine.	6.720
Tellure.	6.240
Chrome.	5.90
Arsenic.	5.67
Titane.	5.300
Iode.	4.948
Sélénium.	4.30
Carbone { diamant.	3.53
	3.50
Carbone { graphite.	2.50
Aluminium écroui.	2.67
— fondu.	2.56
Strontium.	2.542
Glucinium.	2.1
Soufre.	2.086
Phosphore.	1.77
Magnésium.	1.743
Calcium.	1.584
Sodium.	0.972
Potassium.	0.865
Lithium.	0.5936

COMPOSÉS BINAIRES.

	Densité.
Bioxyde de mercure.	11.00
Protoxyde de plomb fondu.	9.50
Peroxyde de plomb.	9.20
Oxyde de bismuth.	8.174
Bisulfure de mercure.	8.124
Protoïodure de mercure.	7.750
Séléniure de plomb.	7.69
Sulfure de plomb (galène).	7.58
Oxyde d'argent.	7.250
Sulfure d'argent.	7.200
Protochlorure de mercure, sublimé corrosif.	7.140
Oxyde de cadmium.	6.95
Deutoxyde d'étain.	6.70
Sulfure de bismuth.	6.54
Biiodure de mercure.	6.320
Deutoxyde de cuivre.	6.13
Iodure de plomb.	6.10
Acide tungstique.	6.00
Protoxyde d'antimoine.	5.778
Protosulfure de cuivre.	5.69
Iodure d'argent fondu.	5.614
Oxyde de zinc.	5.60
Chlorure d'argent fondu.	5.548
Bichlorure de mercure.	5.420
Oxyde de fer magnétique.	5.400
Protoxyde de cuivre.	5.30
Protosulfure d'étain.	5.267
Peroxyde de fer.	5.225
Bromure de plomb.	6.494
— d'argent.	6.425
— de potassium.	1.620
Sulfure de fer { bisulfure (pyrite).	5.00
Sulfure de fer { — (pyrite blanche).	4.840
Sulfure de fer { pyrite magnétique.	4.620
Sesquioxyde de manganèse.	4.840
Oxyde rouge de manganèse.	4.722
Sulfure de molybdène.	4.600
Peroxyde de manganèse.	4.48
Bisulfure d'étain.	4.415
Sulfure d'antimoine.	4.334
Peroxyde de titane (rutile).	4.250
Sulfure de zinc (blende).	4.16
Protosulfure de manganèse.	3.950
Chlorure de plomb.	3.900
— de barium.	3.90
Alumine (émeril).	3.90
Acide arsénique.	3.734
— arsénieux.	3.72
	3.70
Fluorure de calcium (spath fluor).	3.20
Chaux.	3.15
Iodure de potassium.	3.00
Acide silicique, { quartz hyalin.	2.653
Acide silicique, { agate.	2.615
Chlorure de sodium, { sel gemme.	2.257
Chlorure de sodium, { sel marin.	2.207
Chlorure de calcium.	2.23
— de potassium.	1.836
— d'ammonium (sel ammoniac).	1.52
Acide borique hydraté (sassoline).	1.480
Glace à 0°.	0.926
	0.918
	0.905

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube de	à
	kil.	kil.
Plâtre gâché, deux mois après l'emploi	1 390	1 410
Maçonnerie fraîche en moellons	2 230	2 250
Maçonnerie fraîche en briques	1 860	1 890
Baryte	4 284	4 626
Quartz, pierre meulière poreuse	1 242	1 285
Quartz, pierre meulière compacte écailleuse	2 485	2 613
Quartz hyalin	2 642	2 656
Quartz arénacé ou grès à bâtir	1 928	2 070
Id. à paveur	2 427	2 613
Quartz résinite pechstein ou pierre de poix	2 042	2 656
Quartz ou silex pyromaque, pouding	2 570	2 927
Jaspe	2 356	2 843
Feldspath, pétrosilex	2 570	2 742
Trapp, cornéenne, pierre de touche	2 699	2 742
Porphyre, ophite, serpentine variolite	2 756	2 927
Talc, stéatite, chlorite	2 613	2 784
Serpentine	2 770	2 856
Pierre ollaire	2 742	2 856
Granite, siénite, gneiss	2 356	2 956
Granitelle	2 799	3 056
Mica	2 570	2 927
Amiante	1 556	1 785
Schiste grossier	1 843	2 784
Schiste tégulaire, ardoise	2 742	2 856
Trématode, pierre de Volvic	1 928	2 642
Laves, lithoïdes, basaltes	2 756	3 056
Laves du Vesuve	1 713	2 843
Tufs volcaniques	1 214	1 385
Scories volcaniques	785	885
Houille, charbon de terre	942	1 328
2° *Métaux.*		
Or à 24 carats, fondu, forgé	»	19 065
Argent à 12 deniers, fondu, forgé	»	10 494
Platine passé à la filière	»	21 039
Cuivre rouge fondu	»	7 788
Cuivre passé à la filière	»	8 540
Cuivre jaune, passé à la filière	»	8 540
Fer fondu	»	7 202
Fer forgé	»	7 783
Acier non trempé	»	7 829
Acier écroui, trempé	»	7 848
Étain pur de Cornwall, fondu	»	7 287
Étain neuf, fondu, écroui	»	7 307
Étain fin, fondu, écroui	»	7 545
Étain commun, fondu	»	7 945
Étain dit *clair étoffe*, fondu	»	8 439
Fonte blanche	»	7 500
Id. grise	»	7 200
Id. noire	»	7 200
Plomb fondu	»	11 346
Zinc fondu	»	7 128
Mercure coulant	»	13 560

SOLIDES (*Suite*).

	Densité.
Carbonate de plomb	6.729
Malachite	3.590
Sulfate de strontiane	2.959
Aragonite	2.947
Carbonate de chaux	2.723
Quartz	2.654
Gypse	2.332
PIERRES PRÉCIEUSES.	
Zircon	4.505
Grenat almandin . . 3.9 à	4.236
— grossulaire. 3.550 à	3.730
Malachite	4.008
Saphir oriental	3.979
Émeraude orientale	3.949
— du Pérou (aigue marine)	2.732
Améthyste orientale	3.921
Rubis oriental	3.909
Cymophane du Brésil	3.733
— de Sibérie	3.689
Spinelle . . . . . . 3.523 à	3.585
Diamant	3.55
Topaze	3.499
Idocrase vésuvienne	3.420
Dioptase	3.278
Tourmaline	3.073
Lapis lazuli	2.959
Turquoise	2.836
Jaspe, onyx, agate. 2.6 à	2.7
Béryl	2.678
Opale	2.092
CHARBONS FOSSILES.	
Graphite pur	2.328
Anthracite . . . . 1.343 à	1.462
Houille grasse à longue flamme. . . . . 1.276 à	1.363
Houille sèche à longue flamme	1.362
Houille grasse et dure, 1,315 à	1.322
Houille grasse maréchale, 1.280 à	1.302
Lignite parfait. . 1.254 à	1.351
— passant au bitume, 1.157 à	1.497
— imparfait, 1.100 à	1.485
Jayet. . . . . . . 1.305 à	1.316
Bitume rouge	1.160
— noir	1.073
— brun	0.828
Asphalte	1.063

AÉROLITHES tombés à	Densité.
Klein-Wenden. . (1843)	3.701
Chantonnay. . . (1812)	3.67
Utrecht. . . . . (1843)	3.61
Château-Renard (1841)	3.54
Juvenas. . . . . (1821)	3.44
Alais. . . . . . (1806)	1.70
FER MÉTÉORIQUE.	
de Lenarto	7.79
de Caille (Var)	7.64
du Cap	7.544
du Pérou	7.355
d'Alabama	7.265
de Black-Mountain	7.261
ALLIAGES.	
Plomb 87, platine 13.	12.207
— 96, or 4.	11.304
— 62, bismuth 38.	11.037
— 49, — 51.	10.790
— 35, — 65.	10.403
— 74, argent 26.	10.743
— 75, antimoine 25.	10.101
— 65, — 35.	10.064
— 44, — 56.	8.946
— 35, — 65.	8.499
— 69, étain 31.	10.073
— 64, — 36.	9.408
— 43, — 57.	8.760
— 33, — 67.	8.378
— 75, zinc 25.	9.430
— 68, — 32.	9.048
— 41, — 59.	8.397
— 24, — 76.	7.940
Argent 90, cuivre 10.	10.121
— 62, — 38.	9.603
Métal de Darcet	9.795
Bronze des canons, 8.441 à	9.235
— antique	9.200
— de tamtam	8.813
— trempé	8.686
Étain 33, bismuth 67.	8.685
— 48, cuivre 52.	8.531
— 61, — 39.	8.332
— 94, argent 6.	7.494
— 77, zinc 23.	7.366
— 63, — 37.	7.443
— 26, — 74.	6.957
— 21, antimoine 79.	7.211
— 60, — 40.	7.052
Tombac	8.655
Zinc 16, cuivre 84.	8.653
— 33, — 67.	8.606

SOLIDES (*Suite*).

	Densité.
Zinc 43, cuivre 57	8.340
— 50, — 50	8.265
— 77, — 23	7.301
Cuivre jaune	8.427
Maillechort	8.615
VERRES.	
Silicate triplombique	6.720
— biplombique	6.620
— sesquiplombique	5.895
— plombique	5.331
Borate de plomb	5.709
Flint Faraday	5.431 4.358
— lourd	4.056
— de Guinand	3.589
Cristal	3.330
Crown de Clichy	2.657
— de M. Feil	2.629
— ordinaire	2.447
Verre à vitres	2.527
— opalin	2.525
— à glaces	2.463
— commun, base de potasse	2.460
— fin, *id.*	2.454
— commun, base de soude	2.451
— fin, *id.*	2.436
— soluble	1.250
KAOLIN ET PORCELAINE.	
Porcelaine de Sèvres, dégourdie	2.619
— — cuite	2.242
— de Berlin, dégourd.	2.613
— — cuite	2.452
— de Saxe	2.493
— de Chine	2.384
Kaolin 2.21 à	2.26
MATÉRIAUX POUR LES CONSTRUCTIONS OU LA STATUAIRE.	
Basalte 2.45 à	2.85
Marbre de Paros	2.838
— d'Afrique	2.798
— de Sibérie	2.728
— des Pyrénées	2.726
— de Carrare	2.717
— d'Égypte, vert	2.668
— français	2.649
— florentin jaune	2.516
Granit 2.64 à	2.76

	Densité.
Porphyre 2.67 à	2.75
Albâtre calcaire	2.758
— gypseux	2.314
Grès, en moyenne	2.5
Pierre de liais 2.25 à	2.45
— à plâtre	2.20
— à bâtir grossière, 1.70 à	1.90
Brique rouge	2.17
— dure très-cuite	1.56
Ardoise	2.114
BOIS.	
Grenadier	1.35
Buis de Hollande	1.32
— de France	0.91
Ébène	1.125
— vert	1.210
— noir	1.187
Chêne de 60 ans (le cœur)	1.17
— anglais	0.934
— du Canada	0.872
— à glands sessiles, 20 p. 100 d'humidité	0.872
— à glands pédonculés, 20 p. 100 d'hum.	0.808
— de démolition	0.732
— (d'après Karmarsch)	0.610
Arbousier	1.035
Bois de rose	1.031
Satin	0.964
Noyer vert	0.920
— brun	0.685
Mûrier d'Espagne	0.89
Prunier	0.872
Teak	0.860
Acajou d'Espagne	0.852
— de Saint-Domingue	0.755
— de Cuba	0.563
— de Honduras	0.560
Hêtre 0.750 à	0.852
— à 20 p. 100 d'humidité	0.823
— d'un an de coupe	0.650
Frêne, d'après Brisson	0.845
— 20 p. 100 d'humidité, d'après MM. Chevandier et Wertheim	0.697
Acacia vert	0.820
— à 20 p. 100 d'humid.	0.717
Bouleau 0.720 à	0.738
— à 20 p. 100 d'humidité	0.812
If 0.744 à	0.807

SOLIDES (Suite).

	Densité.
Orme	0.553
— vert	0.763
— à 20 p. 100 d'humidité	0.723
Charme : 20 p. 100 d'hum.	0.756
Pin du Nord	0.738
— rouge	0.657
— laryx de choix	0.640
— sylvestre, à 20 p. 100 d'humidité	0.559
— blanc	0.553
Pommier	0.734
Poirier	0.732
Oranger	0.705
Olivier	0.676
Érable	0.645
— 20 p. 100 d'humidité	0.674
Sorbier	0.673
Cyprès, un an de coupe	0.664
Sapin jaune	0.657
— blanc d'Angleterre	0.555
— — d'Écosse	0.529
— 20 p. 100 d'humidité	0.493
Platane	0.648
Tilleul	0.604
Tremble : 20 p. 100 d'hum.	0.602
Aune	0.555
— 20 p. 100 d'hum.	0.601
Sycomore	0.590
Cèdre du Liban sec, 0.486 à	0.575
Mélèze	0.543
Peuplier	0.387
— blanc	0.514
— 20 p. 100 d'hum.	0.477
Saule	0.487
Liège	0.240
Moelle de sureau	0.076
CHARBON DE BOIS.	
1° *En poudre.*	
Saule	1.55
Chêne	1.53
Aune	1.49
Tilleul	1.46
Peuplier	1.45
2° *En morceaux.*	
Noyer	0.625
Frêne	0.547
Hêtre	0.518

	Densité.
Charme	0.455
Pommier	0.455
Chêne blanc	0.421
Cerisier	0.441
Bouleau	0.364
Orme	0.357
Pin jaune	0.333
Châtaignier	0.279
Peuplier	0.245
Cèdre	0.238
Poudre à fusil	2.189
— à canon	2.085
SUBSTANCES DIVERSES DU RÈGNE VÉGÉTAL.	
Coton	1.949
Lin	1.792
Amidon	1.529
Fécule	1.502
Gomme myrrhe	1.360
— adragante	1.346
— sang-dragon	1.204
— sandaraque	1.092
— mastic	1.074
Résines : Jalap	1.218
— Gaïac	1.205
— Benjoin	1.092
— Colophane	1.07
Succin opaque	1.086
— transparent	1.078
Caoutchouc	0.989
Gutta-percha	0.966
SUBSTANCES DIVERSES DU RÈGNE ANIMAL.	
Perles . . . . . 2.684 à	2.750
Corail	2.689
Os . . . . 1.799 à	1.997
Laine	1.614
Tendon . . . . . 1.105 à	1.132
Cartilage	1.088
Cristallin	1.079
Corps humain	1.066
Nerf	1.040
Cire	0.963
Blanc de baleine	0.943
Beurre	0.942
Graisse de porc	0.937
— de mouton	0.924

LIQUIDES.

	Densité.		Densité.
Eau distillée.	1.000	Liqueur des Hollandais.	1.280
— de la mer.	1.026	Sulfure de carbone.	1.263
Mercure à 0°.	13.596	Huile de Spiræa.	1.173
Brome	2.966	— de lin.	0.94
Acide sulfurique, au maximum de concentration.	1.841	— de pavot.	0.93
— — concentré dans les chaudières en plomb, environ.	1.75	— de navette.	0.919
— — sortant des chambres en plomb. 1.35 à	1.50	— d'olive.	0.915
— hyposulfurique.	1.347	— de naphte ou pétrole.	0.84
— azotique fumant.	1.451	— de pomme de terre.	0.818
— hypo-azotique.	1.451	Essence d'amandes amères.	1.043
— azotique quadrihydraté.	1.42	— de cannelle.	1.010
— — du commerce.	1.22	— de cumin.	0.969
— lactique très-concentré.	1.22	— de térébenthine.	0.869
— chlorhydrique liquide concentré.	1.208	— de citron.	0.847
— acétique au maximum de densité.	1.079	Lait.	1.03
— — monohydraté.	1.068	Éther azotique.	1.112
— butirique.	0.963	— azoteux.	0.886
— oléique.	0.898	— sulfureux.	1.085
— cyanhydrique.	0.696	— sulfurique.	0.715
Protochlorure de soufre.	1.680	— chlorhydrique.	0.874
Chlorure d'azote.	1.653	— acétique.	0.868
Acide azoteux.	1.550	Vin de Bordeaux.	0.994
Chloroforme.	1.525	— de Bourgogne.	0.991
Chlorure de silicium.	1.52	Alcool au max. de densité (hyd. de Rudberg).	0.927
		— du commerce.	0.84
		— absolu.	0.792
		Esprit de bois.	0.798
		Mercaptan.	0.840
		Bitume liquide, dit naphte.	0.847
		Acétal pur.	0.844
		Acétone.	0.792
		Aldéhyde.	0.790

DENSITÉS de quelques gaz à 0° et sous la pression 0m.76, celle de l'air étant 1.

Air à 0° et 0m,76.	1.000	Fluorure de silicium.	3.573
Acide tellurhydrique.	4.490	Hydrogène arsénié.	2.695
— iodhydrique.	4.443	— bicarboné de Faraday.	1.920
— fluosilicique.	3.573	— bicarboné (gaz oléfiant).	0.978
— chloroborique.	3.420	— phosphoré.	1.214
— chlorocarbonique.	3.399	— carboné des marais.	0.555
— hypochloreux de Balard.	2.960	Hydrogène.	0.069
— sélenhydrique.	2.795	Chlore.	2.470
— bromhydrique.	2.734	Oxyde de chlore ou acide hypochlorique.	2.340
— fluoborique.	2.374	Fluorure de bore.	2.371
— sulfureux.	2.234	Chlorure de cyanogène.	2.116
— carbonique.	1.529	Cyanogène.	1.806
— chlorhydrique.	1.247	Chlorhydrate de méthylène.	1.731
— formique.	1.235		
— sulfhydrique.	1.191		
Chlorure de bore.	4.035		

GAZ (*Suite*).

	Densité.		Densité.
Monhydrate de méthylène. .	1.617	Azote.	0.971
Fluorhydrate de méthylène..	1.486	Oxyde de carbone.	0.957
Protoxyde d'azote.	1.520	Ammoniaque.	0.596
Bioxyde d'azote.	1.038	Méthylène.	0.490
Oxygène..	1.1056		

POIDS du litre de quelques gaz à 0° et sous la pression $0^m.76$, d'après M. Regnault.

	Gramm.		Gramm.
Acide carbonique.	1.977414	Azote.	1.256167
Oxygène.	1.429802	Hydrogène	0.089578
Air.	1.293187		

DENSITÉS de quelques vapeurs ramenées par le calcul à 0° et à la pression $0^m.76$, celle de l'air à 0° et à la pression $0^m.76$ étant 1.

	Densité.		Densité.
Iodure d'arsenic	16.10	Soufre	6.617
Biiodure de mercure	15.600	Chlorure solide de cyanogène.	6.39
Acide arsénieux.	13.850	Chlorure d'arsenic	6.30
— benzoïque.	4.27	Chlorure de silicium	5.939
— sélénieux.	4.030	Peroxychlorure de chrome. .	5.90
— valérique.	3.68	Brome.	5.540
— butyrique	3.09	Sulfure de mercure (cinabre)	5.5
— sulfurique anhydre. .	3.00	Éther hydriodique	5.474
— acétique..	2.77	— benzoïque..	5.409
— fluoborique.	2.312	— oxalique	5.087
— chlorocyanique. . . .	2.122	— acétique..	3.067
— hypo-azotique.	1.720	— sulfurique	2.586
— formique.	1.554	— hydrochlorique. . . .	2.219
— azotique quadrihydraté.	1.270	Camphre.	5.468
— cyanhydrique.	0.947	Essence de cumin..	5.20
Bibromure de mercure . . .	12.16	— de cannelle.. . . .	4.62
Protochlorure de bismuth. .	11.1	Protochlorure de phosphore.	4.87
Arsenic.	10.60	Essence de térébenthine. . .	4.763
Protobromure de mercure. .	10.14	Chlorure de soufre jaune. .	4.70
Bichlorure de mercure. . .	9.80	— — rouge. .	3.70
Bichlorure d'étain.	9.199	Cyanure de cacodyle.. . . .	4.63
Iode	8.716	Sulfate de méthylène. . . .	4.565
Protochlorure de mercure, sublimé corrosif	8.35	Chlorure de cacodyle. . . .	4.56
Sous-chlorure de mercure, calomel.	8.196	Naphtaline.	4.528
Protochlorure d'antimoine..	7.8	Phosphore	4.420
Oxyde de cacodyle	7.55	Hydrure de salycile.	4.27
Cacodyle.	7.1	Chlorure de bore.	3.942
Mercure..	6.976	Essence d'amandes amères.	3.708
Perchlorure de titane. . . .	6.856	Perchlorure de phosphore. .	3.66
		Bromure de cyanogène. . .	3.61

VAPEURS (*Suite*).			
	Densité.		Densité.
Liqueur des Hollandais. . .	3.45	Mercaptan	2.326
Hydrobicarbonate de chlore.	3.443	Acétone.	2.019
Nitreuse	3.180	Alcool.	1.613
Huile de pomme de terre. .	3.147	Aldéhyde.	1.532
Benzine.	2.77	Esprit de bois	1.120
Hydrogène arseniqué. . . .	2.695	Air.	1.000
Sulfure de carbone.	2.644	Carbone.	0.890
Acétate de méthylène. . . .	2.563	Eau.	0.6235

Dans la pratique, on peut admettre que la densité de la vapeur d'eau, à une pression quelconque, est les 4/5 de celle de l'air à la même température et à la même pression.

46. *TABLEAU du poids d'un mètre cube de divers corps dont les densités n'ont pu être déterminées d'une manière aussi précise que pour les précédents.*

M. PONCELET, *Introduction à la mécanique industrielle.*			
DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.	DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.
	kil.		kil.
Pierre à plâtre ordinaire. . .	2 168	Sable terreux	1 700
Gypse ou plâtre fin	2 264	Terre végétale légère	1 400
Pierre meulière	2 484	Terre argileuse	1 600
Marbre noir et blanc.	2 717	Terre glaise.	1 900
Briques { les plus cuites. .	2 200	Maçonnerie de moellons ordinaires, de 1 700 kil. à. . .	2 300
Briques { les moins cuites. .	1 500	Chêne le plus pesant, le cœur.	1 170
Tuiles ordinaires.	2 000	Chêne le plus léger, sec . . .	850
Sable pur.	1 900		

GÉNIEYS, *Recueil de tables.*		
DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.	
	de	à
1° *Substances d'origine minérale.*	kil.	kil.
Eau. . . . { distillée et de pluie.	»	1 000
Eau. . . . { de rivière, environ.	»	1 000
Eau. . . . { de puits.	1 000	1 014
Eau. . . . { de mer.	1 028	1 042
Terre ou sable de bruyère.	644	643

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube de	à
	kil.	kil.
Terreau	828	857
Tourbe. { sèche	514	»
Tourbe. { humide	785	»
Terre végétale	1 214	1 285
Terre forte graveleuse	1 357	1 428
Vase	1 642	»
Argile et glaise	1 656	1 756
Marne	1 571	1 642
Sable { fin et sec	1 399	1 428
Sable { fin et humide	1 900	»
Sable { fossile argileux	1 713	1 799
Sable { de rivière humide	1 771	1 856
Gravier cailloutis	1 371	1 485
Grosse terre mêlée de sable et de gravier	1 860	»
Terre mêlée de petites pierres	1 910	»
Argile mêlée de tuf	1 990	»
Terre grasse mêlée de cailloux	2 290	»
Écalins de roches	1 571	1 713
Ciment de terre cuite	1 171	1 228
Mâchefer, scories de forges	771	985
Laitier vitreux	1 428	1 485
Pouzzolane { d'Italie	1 157	1 228
Pouzzolane { du Vivarais	1 085	1 128
Trass de Hollande ou trass d'Andernach	1 071	1 085
Pierre ponce	557	928
Chaux { vive sortant du four	800	857
Chaux { éteinte, en pâte ferme	1 328	1 428
Mortier de chaux et de { sable	1 856	2 142
Mortier de chaux et de { ciment	1 656	1 713
Mortier de chaux et de { mâchefer	1 128	1 214
Mortier de chaux et de { laitier	1 856	1 942
Brique	1 000	1 471
Ardoise, environ	2 600	»
Craie	1 214	1 285
Pierre à bâtir { tendre	1 142	1 713
Pierre à bâtir { franche demi-roche	1 713	1 999
Pierre à bâtir { liais doux et roche	2 142	2 284
Pierre à bâtir { roches dures, liais	2 284	2 427
Pierre à bâtir { très-compacte, cliquart	2 499	2 713
Albâtres, marbres, brèches, lumachelles, brocatelles	2 499	2 870
Chaux fluatée, spath fluor	3 084	3 184
Chaux fluatée calcarifère, gypse ou pierre à plâtre crue et alabastrite	1 899	2 299
Plâtre cuit battu	1 199	1 228
Id. tamisé	1 242	1 257
L'eau pour gâcher pèse	328	342
Plâtre gâché humide	1 571	1 599
Id sec	1 399	1 414
L'eau vaporisée pèse	171	186
L'eau combinée par cristallisation pèse	157	157
Pierre à ciment de Vassy	2 500	»
Plâtre cuit passé au panier	1 200	1 270
L'eau pour le gâcher pèse	397	415
Plâtre gâché, vingt-quatre heures après l'emploi	1 577	1 600

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube de	à
	kil.	kil.
Plâtre gâché, deux mois après l'emploi	1 390	1 470
Maçonnerie fraîche en moellons	2 230	2 250
Maçonnerie fraîche en briques	1 860	1 890
Baryte	4 284	4 626
Quartz, pierre meulière poreuse	1 242	1 285
Quartz, pierre meulière compacte écailleuse	2 485	2 613
Quartz hyalin	2 642	2 656
Quartz arénacé ou grès à bâtir	1 928	2 070
Id. à paveur	2 427	2 613
Quartz résinite pechstein ou pierre de poix	2 042	2 656
Quartz ou silex pyromaque, pouding	2 570	2 927
Jaspe	2 356	2 813
Feldspath, pétrosilex	2 570	2 742
Trapp, cornéenne, pierre de touche	2 699	2 742
Porphyre, ophite, serpentine variolite	2 756	2 927
Talc, stéatite, chlorite	2 613	2 784
Serpentine	2 770	2 856
Pierre ollaire	2 742	2 856
Granite, siénite, gneiss	2 356	2 956
Granitelle	2 799	3 056
Mica	2 570	2 927
Amiante	1 556	1 785
Schiste grossier	1 813	2 784
Schiste régulaire, ardoise	2 742	2 856
Trématode, pierre de Volvic	1 928	2 642
Laves, lithoïdes, basaltes	2 756	3 056
Laves du Vésuve	1 713	2 813
Tufs volcaniques	1 214	1 385
Scories volcaniques	785	885
Houille, charbon de terre	942	1 328
2° Métaux.		
Or à 24 carats, fondu, forgé	»	19 065
Argent à 12 deniers, fondu, forgé	»	11 494
Platine passé à la filière	»	21 039
Cuivre rouge fondu	»	7 788
Cuivre passé à la filière	»	8 540
Cuivre jaune, passé à la filière	»	8 540
Fer fondu	»	7 208
Fer forgé	»	7 788
Acier non trempé	»	7 829
Acier écroui, trempé	»	7 848
Étain pur de Cornwall, fondu	»	7 287
Étain neuf, fondu, écroui	»	7 307
Étain fin, fondu, écroui	»	7 545
Étain commun, fondu	»	7 945
Étain dit *clair étoffe*, fondu	»	8 429
Fonte blanche	»	7 500
Id. grise	»	7 200
Id. noire	»	7 200
Plomb fondu	»	11 348
Zinc fondu	»	7 128
Mercure coulant	»	13 560

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.				POIDS du mètre cube de	à
				kil.	kil.
3° *Carreaux de plâtras et plâtre.*				Un carreau humide.	sec.
Pour cloisons légères, 0m.487 sur 0m.325 et 0m.0677 d'épaisseur				15	12
Id. 0 .0812 *id.*				18	15
Id. 0 .0947 *id.*				21	17
Id. 0 .1083 *id.*				23	20
	Long.	Larg.	Épaiss.	Le cent de compte.	
Briques de Bourgogne	0m.226	0.108	0.054	241	128
Briques de Montereau	0 .217	0.108	0.050	208	214
Briques de Sarcelles	0 .210	0.088	0.047	180	184
Brique flottante composée de farine volcanique	0 .189	0.115	0.045	44	»
Ardoise carrée forte				45	47
Id. *id.* fine				36	38
Id. cartelette				22	23
Le mètre carré de voliges employé en couverture				5	5,3
Tuiles de Bourgogne, grand moule de 0m.293 sur 0.244 et 0.0135				223	225
Tuiles de Bourgogne, grand moule faîtières de 0m.352				379	385
Id. petit moule de 0m.244 sur 0.162 et 0.014				159	162
Id. petit moule faîtières de 0m.352				328	330
Tuiles de Sarcelles, de 0m.257 sur 0.162 et 0.018				112	116
Id. faîtières de 0m.325				»	245
Carreaux de 0m.162, à six pans, de Bourgogne				84	»
Carreaux de 0m.162, à six pans, de Sarcelles				74	»
4° *Bois.*					
Abricotier				771	»
Acacia (faux)				785	800
Alisier				871	885
Acajou				785	914
Amandier				110	»
Arbre de Judée				685	»
Aune				510	800
Bouleau commun				700	714
Id. merisier				571	»
Catalpa				457	471
Cèdre du Liban				557	600
Id. des Indes				1 314	»
Cerisier commun				714	743
Id. de Sainte-Lucie				857	871
Charbon de bois				330	»
Charme				757	»
Châtaignier				685	1 100
Chêne vert				930	1 220
Chêne sec				643	1 045
Cognassier				700	985
Cormier				900	914
Coudrier noisetier				600	»
Cyprès pyramidal				600	657
Id. étalé				571	»
Ébénier des Alpes				1 012	»
— d'Amérique				1 199	1 328

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES	POIDS du mètre cube	
	de	à
	kil.	kil.
Érable sycomore	643	»
Id. de Virginie	628	757
Id. jaspé	543	557
Févier épineux	814	828
Id. sans épines	771	785
Frêne	785	»
Gaïac	1 328	1 342
Genévrier	543	557
If de Hollande	771	»
If d'Espagne	814	»
Laurier d'Espagne	814	828
Marronnier	657	»
Mélèze	657	»
Néflier	942	»
Noyer de France	600	685
Noyer d'Afrique	728	743
Olivier	914	928
Orme	743	942
Osier	543	»
Peuplier d'Italie	371	414
Id. de Hollande	528	614
Pin du Nord	814	828
Platane d'Orient	700	714
Id. d'Occident	628	»
Poirier	600	714
Pommier	757	800
Prunier	714	790
Sapin abies	460	»
Id. épicéa	528	557
Id. jaune aurore	671	»
Saule	571	585
Sorbier des oiseleurs	743	»
Sureau	685	700
Sycomore	640	»
Tilleul	557	600
Tulipier	471	485
Thuya de la Chine	557	571
Aylande, dit *vernis du Japon*	814	828
Vigne	1 314	1 328
Cordes en chanvre, environ	915	»

MACHINES EN GÉNÉRAL.

47. Une *machine* est un système matériel composé de différents corps ou organes tellement reliés entre eux, que tout mouvement de l'un, compatible avec la solidité du système, entraîne des mouvements relatifs déterminés pour chacun des autres. Son but est de transmettre le travail des forces.

Les mouvements relatifs des différents organes d'une machine ne

sont pas seulement déterminés en direction, mais aussi en intensité. Généralement, les mouvements sont périodiques uniformes (8), et la vitesse est mise en harmonie avec les exigences des travaux industriels à produire, sans que jamais elle atteigne la limite à laquelle la solidité de la machine serait compromise.

48. Sur une machine en mouvement agissent différentes forces que l'on peut diviser en trois classes:

1° *Les forces mouvantes ou motrices*. Ce sont les forces qui agissent dans le sens du mouvement des organes qu'elles sollicitent; c'est par conséquent à elles qu'est dû le mouvement de la machine;

2° *Les résistances utiles*, qui sont les forces que les matières sur lesquelles opère la machine opposent au mouvement des organes qui les sollicitent;

3° *Les résistances passives ou nuisibles*, ou les forces qui naissent du mouvement des différents organes de la machine pour s'opposer à ce mouvement; elles sont dues au frottement de ces organes entre eux ou sur des corps étrangers, aux chocs qui peuvent avoir lieu entre ces organes par suite de changements brusques de vitesse ou de direction, à la roideur des cordes ou courroies, etc.

49. Considérant les forces motrices comme positives, puisqu'elles agissent dans le sens du mouvement, les résistances utiles et les résistances nuisibles sont négatives. Par conséquent, si l'on suppose le système animé d'un mouvement uniforme, la somme des travaux de toutes les forces pour un temps quelconque sera nulle, puisque le gain ou la perte de force vive est nulle, et on aura (30 et *Int.*, 1489)

$$\mathcal{T}_m - \mathcal{T}_u - \mathcal{T}_n = 0 \quad \text{ou} \quad \mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_n.$$

Ce qui fait voir que, *le mouvement étant uniforme, le travail moteur $\mathcal{T}_m$ dû aux forces motrices est égal au travail utile $\mathcal{T}_u$ dû aux résistances utiles, plus le travail nuisible $\mathcal{T}_n$ dû aux résistances passives.*

Réciproquement, si, à chaque instant, cette équation subsiste, le mouvement est uniforme; car la vitesse ne peut varier qu'autant que la somme des travaux de toutes les forces n'est pas nulle.

Lorsque, dans une machine, cette formule existe, on dit qu'il y a équilibre dynamique.

Quand le mouvement de la machine est périodique uniforme (8), le gain ou la perte de force vive, pendant un certain temps, n'est nul que pour la durée d'un nombre entier de périodes; pour ce temps, on a encore

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_n.$$

On dit alors que la machine est en *équilibre dynamique périodique*: c'est l'état ordinaire des machines, non-seulement à cause de la forme

de leurs organes, mais aussi à cause des variations plus ou moins grandes des forces motrices et surtout des résistances.

30. *Impossibilité du mouvement perpétuel.* Dans le cas où l'on néglige les résistances passives, la formule précédente devient

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u.$$

Ce qui fait voir que *le travail utile* $\mathcal{T}_u$ *est égal au travail moteur* $\mathcal{T}_m$.

Il est impossible de réaliser ce résultat dans la pratique; car, dans une machine quelconque, il y a toujours des résistances passives qui diminuent le travail utile.

Le travail nuisible, inévitable, des résistances passives fait voir l'impossibilité d'obtenir le mouvement perpétuel. Que cette vérité n'a-t-elle été mieux répandue plus tôt, et que ne l'est-elle davantage encore aujourd'hui; elle aurait évité et éviterait bien des déceptions à de pauvres malheureux qui croient ce mouvement réalisable!

Il est évident que s'il n'y avait pas de résistances passives, c'est-à-dire si l'on avait $\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u$, on pourrait obtenir le mouvement perpétuel; puisque, par exemple, à l'aide d'une quantité d'eau tombant d'une certaine hauteur, on pourrait en élever une même quantité à la même hauteur; celle-ci pourrait ensuite faire monter la première à la même hauteur, puis la première élever la seconde, et ainsi de suite indéfiniment. Un pendule écarté de la verticale oscillerait indéfiniment sans la résistance de l'air et le frottement de son axe de suspension.

31. P étant la force motrice agissant sur une machine quelconque, et Q la résistance utile vaincue par cette machine, E et e étant les espaces parcourus par les points d'application de P et Q dans les directions de ces forces et dans un même temps quelconque, au commencement et à la fin duquel la vitesse de la machine est la même, l'équation d'équilibre dynamique donne, en supposant nulles les résistances passives,

$$P \times E = Q \times e \quad \text{ou} \quad P : Q = e : E.$$

De l'égalité entre le travail de la puissance et celui de la résistance, il résulte que pour un même travail moteur $P \times E$, selon que la force Q sera multipliée par $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, 2, 3..., l'espace e sera respectivement divisé par les mêmes nombres; d'où découle la maxime bien connue : *Ce qu'on gagne en force, on le perd en espace, ou,* ce qui revient au même, *en vitesse.*

La proportion précédente permet de calculer l'une quelconque des quatre quantités P, Q, E, e, quand on connaît les trois autres.

Pour une machine quelconque, simple ou compliquée, s'il s'agit de trouver quelle sera la résistance Q que pourra vaincre une puissance P, on détermine les espaces E et e parcourus dans le même temps par les points d'application des forces P et Q. E et e sont quelconques si

ces points d'application ont des mouvements uniformes ; mais on les prend correspondants à un nombre entier de périodes si le mouvement de la machine est périodique. Lorsque la machine est construite, c'est en la mettant en mouvement d'une manière quelconque que l'on détermine les valeurs de E et e. Lorsqu'elle n'est qu'en dessin, d'une valeur E on déduit celle de e d'après les rapports des espaces parcourus par les différents organes qui transmettent le mouvement du point d'application de P à celui de Q.

Supposons que la résistance à vaincre $Q = 100^k$, et qu'il s'agisse de déterminer quelle sera la puissance P en négligeant les résistances passives.

On détermine les valeurs correspondantes de E et e en opérant comme il vient d'être indiqué, soit $E = 2^m,5$ et $e = 0^m,80$; puis on remplace les lettres par leurs valeurs dans la proportion précédente, ce qui donne

$$P : 100^k = 0,80 : 2,5, \quad \text{d'où} \quad P = \frac{100 \times 0,80}{2,5} = 32^k.$$

Si l'on avait donné la puissance P, on aurait déterminé Q en opérant comme pour P.

Pour avoir la force théorique en chevaux-vapeur (36), on constate le temps pendant lequel les espaces E et e sont parcourus quand la machine est en marche normale, et les produits égaux $P \times E$ et $Q \times e$ donnent chacun le nombre de kilogrammètres produit par P ou absorbé par Q dans ce temps ; divisant ce nombre de kilogrammètres par ce temps exprimé en secondes, on a la puissance de la machine en kilogrammètres par seconde. Ce nombre de kilogrammètres divisé par 75 donne la puissance de la machine en chevaux. Si dans l'exemple précédent, E et e sont parcourus en $1'',5$, $P \times E = 32 \times 2,5 = Q \times e = 100 \times 0,80 = 80^{km}$ est le nombre de kilogrammètres produit et absorbé en $1'',5$; $\frac{80}{1,5} = 53^{km},33$ est la puissance de la machine en kilogrammètres par seconde, et $\frac{53,33}{75} = 0,71$ est sa puissance en chevaux-vapeur.

52. Souvent, dans la pratique, on a la puissance dont on peut disposer en chevaux ; supposons qu'elle soit de 25 chevaux. Pour calculer P et Q, on commence par déterminer $E = 3^m$ et $e = 0^m,8$, en opérant comme il a été indiqué (51). La durée de ces parcours étant $1'',4$, le travail produit par la machine dans ce temps est de $75 \times 25 \times 1,4 = 2625^{km}$; on a donc

$$P \times E = P \times 3 = 2625, \quad \text{d'où} \quad P = \frac{2625}{3} = 875^k.$$

Ayant P, on peut calculer Q à l'aide de la proportion du n° 51. Du reste, on a encore

$$Q \times e = Q \times 0,8 = 2625, \text{ d'où } Q = \frac{2625}{0,8} = 3281^k,25.$$

53. Il peut arriver qu'au lieu d'avoir une seule force motrice, on en ait plusieurs P, P′, P″... et que l'on ait aussi plusieurs résistances utiles Q, Q′, Q″..... Constatant, comme pour deux forces, les espaces E, E′, E″.... et e, e', e''..... parcourus dans le même temps par les points d'application des forces dans la direction de ces forces, l'équation

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u, \quad (50)$$

au lieu de fournir l'équation du n° 51, donne

$$P \times E + P' \times E' + P'' \times E'' + ... = Q \times e + Q' \times e' + Q'' \times e'' + ...$$

Équation à l'aide de laquelle on déterminera une des quantités qui y entrent connaissant toutes les autres. Les membres de cette équation donnent chacun le travail théorique produit ou absorbé pendant la durée du parcours des espaces correspondants E, E′..... e, e'.... Connaissant cette durée, on déterminera en kilogrammètres le travail théorique produit ou absorbé pendant une seconde, et ce dernier travail divisé par 75 donnera la puissance en chevaux-vapeur (36). Si l'on avait d'abord donné la puissance en chevaux, par des calculs inverses à ceux que nous venons d'indiquer, le problème aurait fourni, soit pour P, P′.... E, E′....., soit pour Q, Q′..... e, e'....., une infinité de valeurs satisfaisant à l'équation ; mais les valeurs choisies auraient toujours dû donner, pour le premier et pour le deuxième membre de l'équation, une valeur correspondant à 25 chevaux ou $25 \times 75 = 1875^{km}$ par seconde.

54. Dans les machines, surtout dans les machines industrielles, les résistances passives sont assez considérables pour que l'on ne puisse négliger le travail qu'elles absorbent ; l'équilibre dynamique est alors exprimé par

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_n.$$

Pour un certain déplacement de la machine, les travaux $\mathcal{T}_m$, $\mathcal{T}_u$ et $\mathcal{T}_n$ s'évaluent comme dans le cas précédent ; ainsi, P étant la puissance, Q la résistance utile, R, R′... les différentes résistances passives, et E, e, i, i'... les espaces correspondants parcourus dans le même temps par les points d'application dans la direction de ces forces, on a

$$P \times E = Q \times e + R \times i + R' \times i' + ...$$

Équation qui revient à celle du n° 53, dans laquelle on aurait remplacé différentes résistances utiles par des résistances nuisibles.

Il peut arriver qu'une ou plusieurs résistances nuisibles proviennent de chocs entre les organes de la machine. Le travail absorbé

par ces résistances n'est plus évalué par un produit d'une force par l'espace que parcourt son point d'application, mais par la perte de force vive due au choc, et cette perte, évaluée en kilogrammètres (99), entre dans le second membre de l'équation comme tous les autres travaux nuisibles $R \times i$, $R' \times i'$....

A l'aide de l'équation précédente, connaissant, dans une machine, deux des trois travaux suivants : le travail moteur $\mathcal{T}_m = P \times E$, le travail utile $\mathcal{T}_u = Q \times e$, et le travail nuisible $\mathcal{T}_n = R \times i + R' \times i' + ...$ on détermine le troisième.

55. On se propose ordinairement d'établir une machine capable de produire un travail utile $\mathcal{T}_u = Q \times e$ donné. Il faut alors déterminer $\mathcal{T}_m = P \times E$ capable de produire non-seulement ce travail utile, mais aussi le travail nuisible. Il faut donc que l'on commence par calculer ce travail nuisible; ce que l'on fait en déterminant les valeurs des différentes résistances nuisibles R, R' ..... en fonction de Q, et par suite $\mathcal{T}_n$ en fonction de $\mathcal{T}_u$.

Ayant $\mathcal{T}_u$ et $\mathcal{T}_n$, l'équation du n° 54 donne $\mathcal{T}_m$, et l'on peut déterminer le travail moteur en chevaux, comme au n° 53.

56. Le travail moteur $\mathcal{T}_m$ étant représenté par 100, et les travaux utile $\mathcal{T}_u$ et nuisible $\mathcal{T}_n$ étant, par exemple, 75 et 25, on dit que le *rendement* de la machine est de 75 pour cent; la *perte* est alors de 25 pour cent. S'il était possible que la perte fût nulle, le rendement serait de 100 pour cent.

57. *Remarque.* Ce qui vient d'être exposé fait voir l'importance que joue la formule de l'*équilibre* dynamique dans l'établissement des machines. Que de procès souvent désastreux sont dus à ce que cette formule n'ayant pas été convenablement comprise, des machines établies n'ont pas produit le travail qu'on en attendait.

Au point où l'on en est aujourd'hui, la pratique a prononcé sur la quantité de travail nuisible $\mathcal{T}_n$ qui a lieu dans les différentes machines industrielles, et on se base généralement sur ces résultats dans les constructions nouvelles, tout en cherchant à diminuer cette perte autant que possible.

Il y a cependant des cas où il peut être nécessaire de se rendre compte de cette perte; c'est pourquoi nous allons étudier les différentes résistances passives, et poser ensuite les équations d'équilibre dynamique des différentes machines simples; équations desquelles on passera facilement à celles des machines les plus compliquées, qui ne sont en général que la réunion d'un certain nombre de ces machines simples.

FROTTEMENT.

58. La surface d'un corps n'étant jamais parfaitement unie, quel que soit son poli, il en résulte que quand on met deux surfaces en

contact, elles se pénètrent toujours plus ou moins. Cet enchevêtrement n'est pas seulement dû à l'imperfection du poli des pièces, mais aussi à ce que les surfaces en contact se pressant mutuellement, il y a une déformation d'autant plus grande que les corps sont moins durs et que la pression de l'un sur l'autre est plus considérable.

De l'enchevêtrement des molécules de deux surfaces en contact, il résulte que si l'on imprime un mouvement à l'un des corps, mais de manière à le laisser toujours en contact avec la surface de l'autre corps, il naît une résistance qui s'oppose directement au mouvement, et à laquelle on donne le nom de *frottement*.

Si la même partie de la surface d'au moins un des corps reste toujours en contact, c'est-à-dire s'il y a glissement d'un ou de chacun des corps sur l'autre, le frottement prend le nom de *frottement de glissement*. Si, au contraire, les parties des surfaces en contact varient à chaque instant, comme dans le mouvement d'une bille sur un tapis de billard, ou d'une roue de voiture sur une route, le frottement prend le nom de *frottement de roulement*.

59. L'expérience prouve que le frottement est proportionnel à la pression normale que les surfaces exercent l'une sur l'autre, qu'il varie selon la nature et l'état des surfaces en contact, et qu'il est indépendant de la vitesse et de l'étendue de ces surfaces.

Des expériences récentes, faites par M. Jules Poirée sur le chemin de fer de Lyon, ont fait voir que pour des vitesses supérieures à 4 ou 5 mètres par seconde, le frottement diminue à mesure que la vitesse augmente. Dans ces expériences, on a serré les freins d'un wagon de manière à empêcher les roues de tourner, et on l'a fait mouvoir sur les rails comme un traîneau; la vitesse a été portée jusqu'à 22 mètres par seconde, et, à l'aide d'un dynanomètre, on a constaté que le frottement de glissement des roues sur les rails diminuait à mesure que la vitesse devenait plus grande. (Voir la quatrième partie.)

Il convient de remarquer que dans les cas habituels de la pratique, dans les machines, par exemple, la vitesse est loin d'atteindre 4 mètres par seconde, et que l'on peut admettre que le frottement est indépendant de la vitesse.

En lubrifiant les surfaces en contact avec des corps onctueux, tels que l'huile, la graisse, le savon.... on diminue considérablement le frottement, et d'autant plus que l'enduit est renouvelé avec plus de continuité. L'eau pure est un mauvais enduit, surtout pour les métaux; souvent même elle augmente le frottement.

Nous venons de dire que le frottement est proportionnel à la pression des surfaces entre elles; mais cela n'a lieu que jusqu'à une certaine limite; au delà, les surfaces grippent, c'est-à-dire s'entament, et le frottement devient considérable sans varier suivant aucune loi. Les corps onctueux, tout en diminuant le frottement, reculent con-

sidérablement la limite à laquelle les surfaces commencent à gripper.

D'après les expériences de Wood, la pression des essieux de wagons dans leurs boîtes ne doit pas dépasser $6^k,33$ par centimètre carré de surface de contact; au-dessus de cette limite, la graisse qui lubrifie les surfaces est écrasée et chassée; alors, les corps, frottant à sec, s'entament, et le frottement devient considérable. Aujourd'hui que le graissage se fait avec soin et régulièrement, la pression peut atteindre 25 et jusqu'à 30 kilogrammes par centimètre carré.

L'expérience prouve aussi que quand deux surfaces ont été en contact et en repos relatif pendant un certain temps, le frottement de glissement est plus considérable au premier instant du mouvement que quand le mouvement a lieu. Cela est d'autant plus sensible que la pression est plus grande, et que les corps sont plus compressibles; ces deux circonstances tendant à faire pénétrer les surfaces et à chasser l'enduit.

60. Le rapport entre le frottement F, c'est-à-dire la résistance qui s'oppose directement au mouvement, et la pression P qui s'exerce normalement entre les deux surfaces en contact, est ce que l'on appelle *coefficient de frottement;* ainsi, désignant ce coefficient par f, on a

$$f = \frac{F}{P}, \quad \text{d'où} \quad F = fP \quad \text{et} \quad P = \frac{F}{f}.$$

Pour $\quad P = 500^k \quad$ et $\quad f = 0,08, \quad$ on a $\quad F = 0,08 \times 500 = 40$ kil.

Ces formules s'appliquent au premier instant du mouvement, après quelque temps de repos, comme pendant le mouvement; seulement F et f ont d'autres valeurs (61 et 63).

L'expérience prouvant qu'un léger choc, donné sur les corps en contact depuis un certain temps, produit un ébranlement suffisant pour faire commencer le mouvement quand le corps mobile est sollicité par un effort de très-peu supérieur à celui qui est capable de le continuer, dans les applications, pour évaluer le travail absorbé par le frottement, on ne tient compte que du frottement qui s'exerce quand les corps sont déjà en mouvement. On ne tient compte non plus que de ce frottement dans l'évaluation de la stabilité d'une construction soumise à des ébranlements.

Le frottement de roulement, sur lequel nous reviendrons au sujet des chemins de fer, peut être négligé, comparativement au frottement de glissement, quand il s'exerce entre quelques organes d'une machine industrielle (*Int.*, 1504 et suivants).

2° D'APRÈS COULOMB.

Indication des axes.	Indication des coussinets.	NATURE DES ENDUITS.	RAPPORT du frottement à la pression.
Fer.	Cuivre.	Sans enduit.	0.155
Id.	Id.	Suif.	0.085
Id.	Id.	Saindoux.	0.120
Id.	Id.	Surfaces onctueuses de suif essuyé.	0.127
Id.	Id.	Huile d'olives.	0.130
Id.	Id.	Surfaces anciennement enduites de suif.	0.133
Chêne vert.	Gaïac.	Suif.	0.038
Id.	Id.	Surfaces onctueuses de suif essuyé.	0.060
Id.	Id.	Surfaces anciennement enduites de suif.	0.070
Id.	Orme.	Suif.	0 030
Id.	Id.	Surfaces onctueuses de suif essuyé.	0.050
Buis.	Gaïac.	Suif.	0.043
Id.	Id.	Surfaces onctueuses de suif essuyé	0.070
Id.	Orme.	Suif.	0.035
Id.	Id.	Surfaces onctueuses de suif essuyé.	0.050
Fer.	Bois.	On ne désigne pas à la nature des enduits.	0.050

64. Les formules suivantes donnent successivement l'expression du travail absorbé par le frottement (28 et 60) : 1° d'un corps qui se meut sur une surface plane, pour un espace quelconque parcouru ; 2° d'un axe qui tourne dans un coussinet, pour une révolution (*Int.*, 1540) ; 3° de la face horizontale d'un pivot vertical tournant sur une crapaudine, aussi pour une révolution (*Int.* 1541) ; 4° d'une couronne ou collet tournant en frottant par une face normale à son axe (*Int.*, 1542).

$$\mathcal{T}=f\mathrm{PE},\quad \mathcal{T}=f\mathrm{P}\times 2\pi r,\quad \mathcal{T}=f\mathrm{P}\times\frac{4}{3}\pi r,\quad \mathcal{T}=f\mathrm{P}\times 2\pi\left(\rho+\frac{1}{12}\frac{l^2}{\rho}\right).$$

$\mathcal{T}$ travail absorbé par le frottement ;
f coefficient de frottement (60) ;
P pression qui s'exerce entre les deux surfaces frottantes ;
E espace parcouru par une surface sur l'autre ;
r rayon du tourillon, de la face horizontale du pivot, et de l'extérieur de la couronne ;
r' rayon intérieur de la couronne ;
$\rho=\frac{r+r'}{2}$ rayon moyen *id.*
$l=r-r'$ largeur de la couronne.

Application. Soit à déterminer, pour une révolution, le travail absorbé par le frottement du collet d'un arbre en fonte graissé d'huile, contre la joue latérale d'un coussinet en bronze ; la pression P du collet contre la joue du coussinet étant de 55 kilog., le grand rayon r ayant $0^m,06$, et le petit r', $0^m,05$.

63. *TABLEAU des valeurs du coefficient de frottement des axes en mouvement sur leurs coussinets* (60).

1° D'après M. Morin.

INDICATION des axes.	INDICATION des coussinets.	NATURE DES ENDUITS.	RAPPORT du frottement à la pression. Graissage ordinaire.	RAPPORT du frottement à la pression. Graissage continu.
Fonte.	Fonte.	Huile d'olive, saindoux, suif ou cambouis mou.	0.07 à 0.08	0.054
Id.	*Id.*	Les mêmes enduits, et les surfaces mouillées d'eau.	0.08	»
Id.	*Id.*	Asphalte.	0.054	»
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses.	0.14	»
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses et mouillées d'eau.	0.14	»
Id.	Bronze.	Huile d'olive, saindoux, suif ou cambouis mou.	0.07 à 0.08	0.054
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses.	0.16	»
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses et mouillées d'eau.	0.16	»
Id.	*Id.*	Surfaces très-peu onctueuses.	0.19	» [a]
Id.	Gaïac.	Sans enduit.	0.18	» [b]
Id.	*Id.*	Huile ou saindoux.	»	0.090
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses d'huile ou de saindoux.	0.10	»
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses d'un mélange de saindoux et de plombagine.	0.14	»
Fer.	Fonte.	Huile d'olive, suif, saindoux ou cambouis mou.	0.07 à 0.08	0.054
Id.	Bronze.	Huile d'olive, saindoux ou suif.	0.07 à 0.08	0.054
Id.	*Id.*	Cambouis ferme.	0.09	»
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses et mouillées d'eau.	0.19	»
Id.	*Id.*	Surfaces très-peu onctueuses.	0.25	» [c]
Id.	Gaïac.	Huile ou saindoux.	0.11	»
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses.	0.19	»
Bronze.	Bronze.	Huile.	0.10	»
Id.	*Id.*	Saindoux.	0.09	»
Id.	Fonte.	Huile ou suif.	»	0.045 à 0.052
Gaïac.	*Id.*	Saindoux.	0.12	»
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses.	0.15	»
Id.	Gaïac.	Saindoux.	»	0.07

a Les surfaces commençant à se roder;
b Les bois étant un peu onctueux;
c Les surfaces commençant à se roder.

2° D'APRÈS COULOMB.			
INDICATION des axes.	INDICATION des coussinets.	NATURE DES ENDUITS.	RAPPORT du frottement à la pression.
Fer.	Cuivre.	Sans enduit.	0.155
Id.	*Id.*	Suif.	0.085
Id.	*Id.*	Saindoux.	0.120
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses de suif essuyé. . . .	0.127
Id.	*Id.*	Huile d'olives.	0.130
Id.	*Id.*	Surfaces anciennement enduites de suif.	0.133
Chêne vert.	Gaïac.	Suif.	0.038
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses de suif essuyé. . .	0.060
Id.	*Id.*	Surfaces anciennement enduites de suif.	0.070
Id.	Orme.	Suif.	0 030
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses de suif essuyé. . .	0.050
Buis.	Gaïac.	Suif.	0 043
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses de suif essuyé . . .	0.070
Id.	Orme.	Suif.	0.035
Id.	*Id.*	Surfaces onctueuses de suif essuyé. . .	0.050
Fer.	Bois.	On ne désigne pas à la nature des enduits.	0.050

64. Les formules suivantes donnent successivement l'expression du travail absorbé par le frottement (28 et 60): 1° d'un corps qui se meut sur une surface plane, pour un espace quelconque parcouru; 2° d'un axe qui tourne dans un coussinet, pour une révolution (*Int.*, 1540); 3° de la face horizontale d'un pivot vertical tournant sur une crapaudine, aussi pour une révolution (*Int.* 1541); 4° d'une couronne ou collet tournant en frottant par une face normale à son axe (*Int.*, 1542).

$$\mathcal{T}=f\text{PE},\quad \mathcal{T}=f\text{P}\times 2\pi r,\quad \mathcal{T}=f\text{P}\times\frac{4}{3}\pi r,\quad \mathcal{T}=f\text{P}\times 2\pi\left(\rho+\frac{1}{12}\frac{l^2}{\rho}\right).$$

$\mathcal{T}$ travail absorbé par le frottement;
f coefficient de frottement (60);
P pression qui s'exerce entre les deux surfaces frottantes;
E espace parcouru par une surface sur l'autre;
r rayon du tourillon, de la face horizontale du pivot, et de l'extérieur de la couronne;
r' rayon intérieur de la couronne;
$\rho=\dfrac{r+r'}{2}$ rayon moyen *id.*
$l=r-r'$ largeur de la couronne.

Application. Soit à déterminer, pour une révolution, le travail absorbé par le frottement du collet d'un arbre en fonte graissé d'huile, contre la joue latérale d'un coussinet en bronze; la pression P du collet contre la joue du coussinet étant de 55 kilog., le grand rayon r ayant $0^m,06$, et le petit r', $0^m,05$.

TABLEAU de la roideur de différentes cordes s'enroulant sur une poulie de 1 mètre de diamètre, calculée par Navier, d'après les expériences de Coulomb.

DÉSIGNATION des cordes	NOMBRES de fils de caret.	DIAMÈTRES des cordes.	POIDS des cordes par mètre de longueur.	ROIDEUR constante ad^{μ}.	ROIDEUR variable bd^{μ} par kilogr. de la charge Q.
		m.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Corde blanche neuve.	30	0.0200	0.2834	0.22246	0.0097382
Id.	15	0.0144	0.1448	0.063514	0.0055182
Id.	6	0.0088	0.0522	0.0106038	0.0023804
Corde goudronnée. .	30	0.0236	0.3326	0.3496	0.0125514
Id.	15	0.0168	0.1632	0.105928	0.0060592
Id.	6	0.0096	0.0693	0.021208	0.0025962

Ce tableau montre bien, comme nous l'avons fait remarquer, que les quantités ad^{μ} et bd^{μ} ne varient pas avec la grosseur de la corde, suivant une même loi (ad^{μ} croît à peu près proportionnellement à la quatrième puissance du diamètre, et bd^{μ} à la deuxième puissance). Il est donc impossible que l'expression (a) représente exactement la résistance R.

Application. A l'aide de ce tableau, et en admettant les formules précédentes, on peut résoudre tous les problèmes analogues au suivant :

Quelle est la résistance due à la roideur d'une corde blanche neuve de 0m.0254 de diamètre, s'enroulant sur une poulie de 0m.40 de diamètre et tirant un poids de 500 kilogr.?

La corde blanche neuve du tableau, dont le diamètre 0m.02 s'approche le plus de 0m.0254, donne, en remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule (a),

$$R = \frac{1}{0,40}(0,22246 + 0,0097382 \times 500) = 12^{k}.73.$$

Alors, pour la corde de 0m.0254 de diamètre placée dans les mêmes circonstances, on aura (formule b)

$$R' = 12,73\left(\frac{0,0254}{0,02}\right)^2 = 20^{k}.53.$$

M. Morin, reprenant la discussion des résultats de Coulomb, a conclu, en appelant A et B les deux quantités que Navier a représentées par ad^{μ} et bd^{μ},

1° Que pour les cordes en chanvre non goudronnées, dites cordes blanches, sèches ou imbibées d'eau, en bon état, A et B varient à peu près proportionnellement au carré du diamètre de la corde ;

2° Que pour les mêmes cordes à demi usées A et B varient comme

les puissances 1,5, c'est-à-dire comme les racines carrées des cubes des diamètres des cordes (*Int.*, 179) ;

3° Que pour les cordes goudronnées, B est proportionnel au nombre des fils de caret de la corde.

De cette discussion, M. Morin a conclu les formules suivantes, dans lesquelles n désigne le nombre des fils de caret, et D le diamètre de la poulie :

1° Cordes blanches :

$$A = (0{,}000\,297 + 0{,}000\,245\,n)n \quad \text{et} \quad B = 0{,}000\,363\,n,$$

d'où $$R = \frac{1}{D}\left[(0{,}000\,297 + 0{,}000\,245\,n)n + 0{,}000\,363\,nQ\right] \text{ kil.}$$

2° Cordes goudronnées :

$$A = (0{,}001\,457\,5 + 0{,}000\,346\,n)n \quad \text{et} \quad B = 0{,}000\,418\,1\,n,$$

d'où $$R = \frac{1}{D}\left[(0{,}001\,457\,5 + 0{,}000\,346\,n)n + 0{,}000\,418\,1\,nQ\right] \text{ kil.}$$

M. Morin, en faisant usage de ces formules, a calculé les résultats du tableau suivant pour une poulie de 1 mètre de diamètre.

NOMBRE DE FILS.	CORDES BLANCHES.			CORDES GOUDRONNÉES.		
	Diamètre.	Roideur constante A.	Roideur variable B par kilogramme de la charge Q.	Diamètre.	Roideur constante A.	Roideur variable B par kilogramme de la charge Q.
	mètres.	kilogr.	kilogr.	mètres.	kilogr.	kilogr.
6	0.0089	0.0106038	0.002178	0.0105	0.021201	0.002512992
9	0.0110	0.0225207	0.003267	0.0129	0.041148	0.003769488
12	0.0127	0.0388476	0.004356	0.0149	0.067314	0.005025984
15	0.0141	0.0595845	0.005445	0.0167	0.097712	0.006282480
18	0.0155	0.0847314	0.006534	0.0183	0.138339	0.007538976
21	0.0168	0.1142883	0.007623	0.0198	0.183193	0.008795472
24	0.0179	0.1482552	0.008712	0.0211	0.234276	0.010051968
27	0.0190	0.1866324	0.009801	0.0224	0.291586	0.011308464
30	0.0200	0.2294490	0.010890	0.0236	0.355125	0.012564963
33	0.0210	0.2766159	0.011979	0.0247	0.424891	0.013821456
36	0.0220	0.3282228	0.013068	0.0258	0.500886	0.015077952
39	0.0228	0.3842397	0.014157	0.0268	0.583108	0.016334448
42	0.0237	0.4446666	0.015246	0.0279	0.671558	0.017590944
45	0.0246	0.5095035	0.016335	0.0289	0.766237	0.018847440
48	0.0254	0.5787504	0.017424	0.0298	0.867144	0.020103936
51	0.0261	0.6524073	0.018513	0.0308	0.974278	0.021360432
54	0.0268	0.7304742	0.019602	0.0316	1.087641	0.022616928
57	0.0276	0.8129541	0.020691	0.0326	1.207231	0.023873424
60	0.0283	0.8998380	0.021780	0.0334	1.333050	0.025129920

Application. Soit à résoudre le même problème que page 48. Substituant les valeurs de A et B correspondant au diamètre $0^m,0254$ dans la formule

$$R = \frac{1}{D}(A + BQ),$$

on a, en remarquant que $n = 48$,

$$R = \frac{1}{0,40}(0,5787504 + 0,017424 \times 500) = 23^k,23,$$

au lieu de $20^k,53$ que nous avons trouvé en faisant usage de la table de Navier.

Pour un tour de poulie, le travail absorbé par cette résistance est

$$\mathcal{T}_n = \pi D \times 23^k,23 = 3,14 \times 0,40 \times 23,23 = 29^{km},18.$$

La puissance

$$P = Q + R\frac{D}{D+d} = 500 + 23,23\frac{0,40}{0,40 + 0,0254} = 521^k,84.$$

Le travail utile est, pour un tour de poulie,

$$\mathcal{T}_u = \pi(D+d) \times Q = 1,336 \times 500 = 668^{km},$$

et le travail moteur,

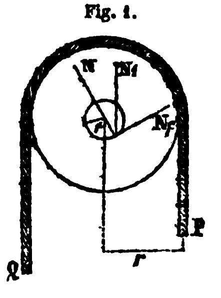
$$\mathcal{T}_m = P\pi(D+d) = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_n = 668 + 29,18 = 697^{km},18.$$

Dans la pratique il convient, quand cela est possible, de remplacer les cordes rondes par des cordes plates, qui ont plus de flexibilité et plus de durée.

On diminue beaucoup la roideur des cordes en les imprégnant d'un corps gras, ou en les frottant avec du savon.

67. *Équilibre dynamique de la poulie* (*Int.*, 1544).

Fig. 1.



Négligeant le poids de la poulie, le système est soumis à l'action de cinq forces :

- P puissance;
- Q résistance;
- N réaction normale du support sur les tourillons ou l'œil de la poulie ;
- Nf frottement des tourillons (63). Ordinairement les surfaces frottantes n'étant qu'un peu onctueuses, il convient de faire $f = 0.15$;
- $\frac{1}{D}(A + BQ)$ roideur de la corde (66).

Pour un tour de poulie, l'équilibre dynamique donne, en remarquant que le travail de la réaction normale est nul,

$$P2\pi r = Q2\pi r + Nf2\pi r' + \frac{\pi D}{D}(A+BQ).$$

Remarquant que la résultante N_1 des réactions N et Nf est égale et directement opposée à la résultante de P et Q, cela permet d'éliminer N dans l'équation précédente, qui donne alors

$$P = Q + \frac{1}{2r}(A + BQ) + f_1\frac{r'}{r}\sqrt{P^2+Q^2+2PQ\cos\omega}:$$

$f_1 = \dfrac{f}{\sqrt{1+f^2}}$;

ω angle que font entre eux les deux brins de la corde ou les deux forces P et Q.

Quand les deux forces P et Q sont parallèles, on a $\omega = 0$, $\cos\omega = 1$, et la formule précédente devient

$$P = \frac{1}{r - f_1 r'}\left[\frac{1}{2}A + \left(r + \frac{1}{2}B + f_1 r'\right)Q\right]. \qquad (a)$$

Pour les données du n° 66, c'est-à-dire pour Q = 500 kil., un diamètre de poulie D = 0^m,40, et un diamètre de corde d = 0^m,0254, d'où r = 0^m,2127, supposant r' = 0^m,01, on a d'abord

$$f_1 = \frac{0,15}{\sqrt{1 + 0,15 \times 0,15}} = 0,1484,$$

et par suite

$$P = \frac{1}{0,2127 - 0,1484 \times 0,01}\left[\frac{0,5787504}{2} + (0,2127 + \frac{0,017424}{2} + 0,1484 \times 0,01)500\right] = 529^k.$$

Remarque. La formule (a) fait voir que la valeur de P se compose de deux parties : la première $\dfrac{A}{2(r - f_1 r')}$, qui est constante pour une même poulie et une même corde, et que l'on peut représenter par α; la deuxième $\dfrac{(r + \frac{1}{2}B + f_1 r')Q}{r - f_1 r'}$, qui est proportionnelle à Q et que l'on peut représenter par βQ ; ce qui permet de mettre la valeur de P sous la forme

$$P = \alpha + \beta Q.$$

68. ***Équilibre dynamique de la moufle ou du palan, en négligeant le poids de la corde et des poulies, le frottement latéral des poulies, et en supposant que les poulies ont même diamètre et que les cordes sont parallèles*** (*Int.*, 1545).

Fig. 8.

Appelant :

P la puissance, c'est-à-dire la tension du cordon libre ou *garant;*
Q la résistance utile;
$t_1, t_2, t_3, \ldots t_n$, les tensions des divers cordons allant d'une chape à l'autre;
n le nombre des cordons allant d'une chape à l'autre;
α et β les fonctions déterminées comme à la remarque précédente,

On a (67)

$$t_2 = \alpha + \beta t_1$$
$$t_3 = \alpha + \beta t_2$$
$$\cdots\cdots\cdots$$

D'où il résulte qu'assignant une valeur arbitraire à t_1, on peut déterminer les valeurs correspondantes de $t_2, t_3 \ldots t_n$ et P. Mais remarquant que l'on a $Q = t_1 + t_2 + \ldots + t_n$, de ces diverses formules, on conclut la suivante, qui donne directement la valeur de P en fonction de Q.

$$P = \alpha\left(\frac{n\beta^n}{\beta^n - 1} - \frac{1}{\beta - 1}\right) + \frac{(\beta - 1)\beta^n}{\beta^n - 1}Q.$$

En négligeant toutes les résistances passives, on aurait

$$t_1 = t_2 = \ldots = t_n = P, \quad \text{et} \quad Q = t_1 + t_2 + \ldots + t_n = nP.$$

Ainsi, la tension de chacun des cordons serait égale à la puissance P, et la résistance Q serait égale à la puissance P multipliée par le nombre n des cordons allant d'une chape à l'autre.

La vitesse de Q est à celle de P dans le rapport $\frac{P}{Q} = \frac{P}{nP} = \frac{1}{n}$, c'est-à-dire que la vitesse de Q est égale à celle de P divisée par le nombre des cordons allant d'une chape à l'autre. Il est évident que, sauf l'allongement inégal des cordons sous des charges différentes, le rapport des vitesses de Q et de P est le même, que l'on tienne ou non compte des résistances passives.

Application. Quelle doit être la valeur de P pour soulever un poids [illegible]

$$\alpha = \frac{0,0225207}{2(0,0555-0,1484\times 0,005)} = 0,20564,$$

$$\beta = \frac{\left(0,0555+\frac{0,003267}{2}+0,1484\times 0,005\right)}{0,0555-0,1484\times 0,005} = 1,0569.$$

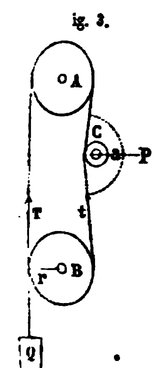
Afin d'abréger les calculs, il convient de faire usage des logarithmes pour calculer β^6; on pose $log(\beta^6)=6\,log\,\beta$, d'où on conclut $\beta^6=1,3747$.

On a ensuite

$$P=0,20564\left(\frac{6\times 1,3747}{1,3747-1}-\frac{1}{1,0569-1}\right)+\frac{(1,0569-1)1,3747}{1,3747-1}\times 500 =$$
$$= 0,9127 + 0,20875\times 500 = 105^{k},29,$$

au lieu de $P=\frac{500}{6}=83^{k},33$, qu'on aurait eu si les résistances passives eussent été nulles.

69. *Frottement d'une corde ou d'une courroie sur un cylindre fixe.* La force T (*fig.* 3), capable de faire glisser une corde ou une courroie sur un cylindre fixe B, en la tirant par une de ses extrémités, cette corde ou cette courroie étant sollicitée à son autre extrémité par une force t, est donnée par la formule



$$T = t(e)^{\frac{fs}{r}}, \text{ d'où } (Int., 383) \log T = \log t + (\log e)\frac{fs}{r}.$$

T force qui produit le mouvement;
t force qui s'oppose au mouvement;
$e=2,71828$ base des logarithmes népériens (*Int.*, 384);
$\text{Log}\,e=0,43429$, soit 0,4343;
f coefficient de frottement;
s longueur en mètres de l'arc embrassé par la corde ou la courroie sur le rouleau;
r rayon du rouleau.

D'après les expériences de M. Morin, les valeurs de f sont:

0,47 pour des courroies à l'état ordinaire d'onctuosité sur des tambours en bois;
0,50 *id.* neuves *id.*
0,28 *id.* à l'état ordinaire d'onctuosité sur des poulies en fonte;
0,38 *id.* humides *id.*
0.50 pour des cordes de chanvre sur des poulies ou tambours en bois.

La formule fait voir que, pour une même valeur de t, T ne dépend pas seulement de s, mais bien de $\frac{s}{r}$, c'est-à-dire du nombre de degrés de l'arc embrassé; ainsi il est inutile d'augmenter démesurément le diamètre des tambours dans l'unique but d'empêcher le glissement des courroies (tableau du n° 70).

70. *Transmission de mouvement au moyen d'une corde ou d'une courroie sans fin.* Quand, au moyen d'une corde ou d'une courroie sans fin, on transmet le mouvement d'une poulie A (*fig.* 3) à une autre poulie B, à l'extrémité du rayon de laquelle agit une résistance Q qui s'oppose au mouvement, on a, en appelant T la tension du brin conducteur, t celle du brin conduit, et T′ la tension commune des deux brins en repos,

$$T' = \frac{T+t}{2}, \quad (a) \qquad \text{et} \qquad T - t = Q. \qquad (b)$$

Pour que la courroie ne glisse pas sur la poulie B, il faut que son frottement sur cette poulie soit au moins égal à Q.

Ayant (69)

$$T = t(e)^{\frac{fs}{r}}, \qquad (c)$$

des équations (b) et (c) on conclut

$$t = \frac{Q}{(e)^{\frac{fs}{r}} - 1}. \qquad (d)$$

L'équation (d) donne la valeur de t, qu'en pratique on augmente de 1/10, afin de s'assurer que la courroie ne glissera pas. Cette valeur, mise dans l'équation (b), fournit T, et les valeurs de T et t, substituées dans l'équation (a), donnent T′.

Application. Supposons que la demi-circonférence de la poulie en fonte B (*fig.* 3) soit embrassée par une courroie de transmission qui donne $f = 0{,}28$ (69), et que l'on ait $r = 0^m{,}30$ et $Q = 50$ kilog. La formule (d) donne

$$t = \frac{Q}{(e)^{\frac{fs}{r}} - 1} = \frac{50}{(2{,}71828)^{\frac{0{,}28 \times 3{,}14 \times 0{,}30}{0{,}30}} - 1}$$

d'où (*Int.*, 383)

$$t = \frac{50}{2{,}41 - 1} = 35^k{,}46.$$

Augmentant cette valeur de 1/10 pour s'assurer que la courroie ne glissera pas, on a $t = 39$ kilog.

La formule (b) donne alors

$$T = t + Q = 39 + 50 = 89 \text{ kilog.},$$

et la formule (a), $T' = \frac{T+t}{2} = \frac{89+39}{2} = 64$ kilog.

Il est évident que ce calcul doit être fait pour la poulie qui donne la plus grande valeur de t; ainsi les deux poulies étant de même matière, on devra calculer t pour celle qui est la plus petite, c'est-à-dire pour

celle dont la portion de circonférence embrassée est la plus petite.

Le tableau suivant, que nous extrayons de l'*Aide-mémoire* de M. Morin, donne les valeurs de $(e)^{\frac{f\theta}{r}}$ pour différents rapports de l'arc embrassé à la circonférence entière; ce qui abrégera considérablement, pour ces rapports, le calcul de t, ainsi que celui de T dans les applications relatives au n° 69.

Rapport de l'arc embrassé à la circonférence entière.	Valeurs de $(e)^{\frac{f\theta}{r}}$ pour des courroies neuves sur des tambours en bois.	courroies à l'état ordinaire sur des tambours en bois.	courroies à l'état ordinaire sur des poulies en fonte.	courroies humides sur des poulies en fonte.	cordes sur des tambours ou des treuils en bois brut.	cordes sur des tambours ou des treuils en bois poli.
0.2	1.87	1.80	1.42	1.61	1.87	1.51
0.3	2.57	2.43	1.69	2.05	2.57	1.86
0.4	3.51	3.26	2.02	2.60	3.51	2.29
0.5	4.81	4.38	2.41	3.30	4.81	[illegible]
0.6	6.59	5.88	2.87	4.19	6.58	3.47
0.7	9.00	7.90	3.43	5.32	9.01	4.27
0.8	12.34	10.62	4.09	6.75	12.34	5.25
0.9	16.90	14.27	4.87	8.57	16.90	6.46
1.0	23.14	19.16	5.81	10.89	23.90	7.95
1.5	»	»	»	»	111.31	22.42
2.0	»	»	»	»	535.47	63.23
2.5	»	»	»	»	2575.80	178.52

71. ***Rouleaux de tension.*** Pour maintenir constante la tension des cordes ou des courroies sans fin, malgré leur allongement, on fait usage d'un rouleau de tension C (*fig.* 3), dont la pression sur la courroie est donnée par la formule

$$p = 2t' \cos \frac{1}{2} a, \qquad (Int., 1372.)$$

p pression du rouleau sur la corde ou courroie, suivant la bissectrice de l'angle a que font entre elles les deux parties du brin sur lequel il agit;

t' tension des deux parties du brin sur lequel agit le rouleau; dans le cas de la figure 3, on a $t' = t$.

L'angle a, qui est toujours très-obtus, se mesure sur la courroie mise en place.

Supposant l'angle $a = 170°$ ou $= \frac{1}{2} a = 85°$ dans l'exemple du n° 70, on a, en remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule précédente (*Int.*, 1011),

$$p = 2 \times 39 \times 0,08716 = 6^k,80.$$

Remarque. Afin que les courroies ne quittent pas les poulies sur lesquelles elles passent, il convient que les pourtours de ces poulies aient une convexité égale au 1/10 de leur largeur.

72. *Largeur des courroies.* On peut, sans craindre un allongement trop rapide des courroies de transmission de mouvement, leur faire subir un effort de 1/4 de kilogramme par millimètre carré de section ; ce qui permettra de calculer leur largeur, connaissant l'épaisseur du cuir à employer.

Au moulin de M. Darblay, à Corbeil, le mouvement est communiqué à chaque meule à l'aide d'une courroie qui passe sur deux poulies de même diamètre, dont l'une est montée sur l'arbre de la meule. Dans les moulins à l'anglaise, les meules ont 1^m,30 de diamètre, et leur vitesse de régime est de 120 révolutions par minute. Chez M. Darblay, les poulies motrices ont 1^m,30 de diamètre comme les meules, et une largeur de 0^m,12 ; elles sont tournées avec beaucoup de soin et légèrement bombées sur le pourtour, afin que la courroie ne glisse pas. Les courroies enveloppent ces poulies sur la moitié de leur circonférence ; elles ont de 0^m,10 à 0^m,11 de largeur ; elles sont en cuir de bonne qualité, bien corroyé ; leur longueur est telle, qu'elles deviennent complétement lâches quand on soulève le rouleau de tension ; ce qui fournit un moyen facile de débrayer et d'embrayer. Avec une telle vitesse de poulies, $3{,}14 \times 1{,}30 \times 2 = 8^m{,}16$ par seconde, les courroies n'ont pas besoin d'être fortement tendues ; aussi, quoique le travail à transmettre puisse s'élever quelquefois à plus de trois chevaux, le contre-poids adapté au levier des tendeurs est-il extrêmement faible.

Dans la pratique, les courroies enveloppant la moitié de la circonférence des poulies, la largeur se détermine ordinairement au moyen de la formule empirique

$$l = k\,\frac{f}{V}.$$

l largeur de la courroie, en mètres ;
f puissance à transmettre, en chevaux ;
V vitesse de la courroie, en mètres, par seconde ;
k coefficient, que l'on fait égal à 0,15 pour les arbres de couche, et à 0,20 pour les arbres verticaux.

Dans un travail présenté par M. Laborde à la Société industrielle de Mulhouse il y a un certain nombre d'années, cet ingénieur, avant de poser le principe sur lequel il base le calcul des largeurs à donner aux courroies, fait les observations suivantes :

1° La résistance à vaincre doit être moindre que la force qui ferait glisser la courroie sur la poulie ;

2° La tension ne doit pas aller au point d'étendre le cuir ;

3° La tension ne doit pas non plus augmenter inutilement le frottement sur les pivots ou les coussinets ;

4° Une courroie doit être flexible, c'est-à-dire qu'elle doit se ployer facilement dans toutes ses parties.

Les trois premières conditions sont évidentes ; quant à la quatrième, on en conclut qu'une courroie ne doit jamais être doublée, mais bien se composer seulement d'une seule épaisseur de cuir. L'auteur conseille, pour empêcher les courroies de se dessécher, de les graisser de temps à autre avec du suif pur ou mêlé de saindoux, ce qui se fait très-bien pendant la marche ; cela les rend flexibles et en augmente la durée. L'expérience a montré que les poulies à surface lisse étaient préférables à celles qui seraient rayées dans un sens ou dans un autre, parce que les premières offrent un plus grand nombre de points de contact.

Après ces considérations, M. Laborde pose les principes suivants :

1° Les largeurs des courroies doivent être en raison directe des puissances à transmettre, la vitesse restant la même ;

2° Les largeurs des courroies sont en raison inverse des vitesses avec lesquelles elles se meuvent, pour un même travail transmis.

D'où l'on conclut, l, l' étant les largeurs de deux courroies, f, f' les puissances transmises, et v, v' les vitesses,

$$l : l' = \frac{f}{v} : \frac{f'}{v'}, \quad \text{d'où} \quad l' = l\frac{f'v}{fv'}.$$

M. Laborde a reconnu par expérience qu'une courroie de 0m,081 de largeur, marchant avec une vitesse de 162m,50 par minute, peut très-bien, avec une tension ordinaire, et sans se déformer, transmettre une force de 1 cheval-vapeur ; cette courroie agissant sur des poulies non rayées, mais tournées lisses et d'égal diamètre, c'est-à-dire embrassées sur la moitié de leur circonférence. Partant de cette donnée, à l'aide de la formule précédente, on peut calculer la largeur à donner à une courroie marchant dans des conditions déterminées ; ainsi, pour transmettre une puissance de 2 chevaux avec une vitesse de courroie de 112m,50, on devra prendre

$$l' = 0{,}081\,\frac{2 \times 162{,}50}{1 \times 112{,}50} = 0^{m}{,}234.$$

C'est en opérant ainsi que la table suivante a été calculée.

Vitesse par minute en mètres.	Largeur des courroies en millimètres, pour des forces de 1/10 à 9/10 de cheval								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
20	68	132	196	264	328	396	»	»	»
25	52	106	158	208	264	316	370	422	»
30	44	88	132	174	220	264	308	348	394
35	38	76	114	150	188	226	264	302	340
40	34	66	98	132	164	198	230	264	296
45	30	58	88	118	146	176	206	234	264
50	26	53	79	106	132	158	185	211	237
60	22	44	66	87	110	132	154	174	197
70	19	38	57	75	94	113	132	151	170
80	17	33	49	66	82	99	115	132	148
90	15	29	44	59	73	88	103	117	132
100	13	26	40	53	66	79	92	106	119
110	12	24	36	48	60	72	84	96	108
120	11	22	33	44	55	66	77	88	99
130	10	20	30	41	51	61	71	81	91
140	9	19	28	38	47	57	66	75	85
150	9	18	26	35	44	53	62	70	79
160	8	17	25	33	41	49	58	66	74
170	8	16	23	31	39	47	54	62	70
180	»	15	22	29	37	45	51	59	66
190	»	14	21	28	35	42	49	56	60
200	»	13	20	26	33	40	46	53	55
220	»	12	18	24	30	36	42	48	54
240	»	11	17	22	28	33	39	44	47
260	»	10	15	20	26	30	35	41	44
280	»	9	14	19	24	28	33	38	41
300	»	9	13	18	22	26	31	35	39
320	»	8	12	16	21	25	29	33	37
340	»	8	12	16	19	23	27	31	35
360	»	»	11	15	18	22	26	29	33
380	»	»	10	14	17	21	24	28	30
400	»	»	10	13	16	20	23	26	28
440	»	»	9	12	15	18	21	24	26
480	»	»	9	11	14	17	19	22	25
500	»	»	»	11	13	16	18	21	24

Vitesse par minute en mètres.	Largeur des courroies en millimètres, pour des forces en chevaux de									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60	220	440	»	»	»	»	»	»	»	»
70	188	377	565	»	»	»	»	»	»	»
80	165	329	494	»	»	»	»	»	»	»
90	147	293	440	586	»	»	»	»	»	»
100	132	264	396	528	»	»	»	»	»	»
110	120	240	360	480	600	»	»	»	»	»
120	110	220	330	440	550	»	»	»	»	»
130	101	203	304	406	507	608	»	»	»	»
140	94	188	283	377	471	565	»	»	»	»
150	88	176	264	352	440	527	615	»	»	»
160	82	165	247	329	412	494	576	»	»	»
170	78	155	233	310	388	466	543	621	»	»
180	73	147	220	293	367	440	512	586	»	»
190	69	139	208	278	347	416	486	555	»	»
200	66	132	198	264	330	396	462	528	594	
220	60	120	180	240	300	360	420	480	540	60
240	55	110	165	220	275	330	385	440	495	55
260	51	101	152	203	254	304	355	406	457	50
280	47	94	141	188	236	283	330	377	424	47
300	44	88	132	176	220	264	308	352	396	44
320	41	82	124	165	206	247	288	330	371	41
340	39	80	116	155	194	233	272	310	349	38
360	37	73	110	146	183	220	256	293	329	36
380	35	69	104	139	174	208	243	278	313	34
400	33	66	99	132	165	193	231	264	297	33
440	30	60	90	120	150	180	210	240	270	30
480	28	55	83	110	138	165	193	220	248	2
500	26	53	79	106	132	158	185	211	238	2
520	25	51	76	102	127	152	178	203	229	2
560	24	47	71	94	118	142	165	189	212	2
600	22	44	66	88	110	132	154	176	198	2
650	20	41	61	81	102	122	142	162	183	2
700	»	38	56	75	94	113	132	150	169	1
800	»	33	50	66	83	99	116	132	149	1
900	»	29	44	59	74	88	103	118	133	1
1000	»	26	40	53	66	79	92	106	119	1

Toutes choses égales d'ailleurs, il est évident que les largeurs du tableau précédent, ou celles fournies par la formule empirique de la page 56, doivent être modifiées quand la courroie n'enveloppe pas la moitié de la poulie, puisqu'alors le frottement Q restant le même, la tension de la courroie doit varier.

Ayant déterminé les rapports de Q à t pour différents arcs embrassés, rapports consignés dans la deuxième colonne du tableau suivant, et que l'on calcule à l'aide de la formule (70)

$$t = \frac{Q}{e^{\frac{fs}{r}} - 1}, \quad \text{d'où} \quad \frac{Q}{t} = e^{\frac{fs}{r}} - 1,$$

comme la largeur de la courroie varie proportionnellement à T, ou à t qui lui est proportionnel, elle varie donc en sens inverse de la valeur du rapport $\frac{Q}{t}$. Ainsi, connaissant la largeur l qu'il convient de donner à une courroie qui enveloppe, par exemple, la moitié d'une poulie, pour avoir la largeur l' à donner à une courroie qui n'envelopperait pas la moitié d'une poulie de même nature, ayant même vitesse à la circonférence, et transmettant la même puissance, c'est-à-dire donnant le même frottement Q, on posera

$$l' : l = \left(e^{\frac{fs}{r}} - 1\right) : \left(e^{\frac{fs'}{r'}} - 1\right), \quad \text{d'où} \quad l' = l \frac{e^{\frac{fs}{r}} - 1}{e^{\frac{fs'}{r'}} - 1}.$$

Formule qui donnera l', après avoir calculé séparément $e^{\frac{fs}{r}} - 1 = 1,41$ qui se rapporte à l, et $e^{\frac{fs'}{r'}} - 1$ qui se rapporte à l'.

Le tableau suivant donne, pour des poulies en fonte, les résultats de ces calculs pour les arcs embrassés consignés dans la première colonne.

RAPPORT de l'arc embrassé à la circonférence entière.	VALEUR DE $e^{\frac{fs'}{r'}} - 1$	VALEUR DE $\frac{1.41}{e^{\frac{fs'}{r'}} - 1}$
0.2	0.42	3.36
0.3	0.69	2.04
0.4	1.02	1.38
0.5	1.41	1.00
0.6	1.87	0.75
0.7	2.43	0.58
0.8	3.09	0.46
0.9	3.87	0.36
1.0	4.81	0.29

1re *Application*. Quelle est la largeur à donner à une courroie qui doit transmettre une puissance de 0,6 de cheval, la vitesse de la courroie étant de 80 mètres par minute, et la poulie étant enveloppée sur les 0,6 de sa circonférence?

Le tableau page 58 donnant $l = 0^m,099$ lorsque la poulie est enveloppée sur la moitié de la circonférence, cherchant dans la troisième colonne du tableau précédent le nombre qui correspond à l'arc 0,6, il en résulte que la largeur à donner à la courroie est

$$l' = 0^m,099 \times 0,75 = 0^m,074.$$

2e *Application*. Pour une puissance de quatre chevaux, une vi-

tesse de courroie de 400 mèt., et un arc embrassé sur la petite poulie de 0,4, le tableau page 58 donne $l = 0^m,132$, et par suite on a

$$l' = 0,132 \times 1,38 = 0^m,182.$$

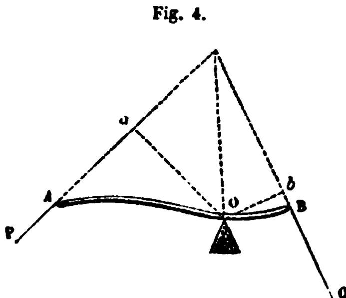
Tout ce qui précède suppose le cuir de bonne qualité, et d'une épaisseur ordinaire et uniforme; mais il est évident que lorsqu'il s'agira de transmettre de faibles puissances avec de grandes vitesses, il conviendra de réduire l'épaisseur des courroies et d'augmenter leur largeur, afin d'obtenir la même résistance et plus de flexibilité; alors on déterminera les dimensions de la section de la courroie d'après la règle donnée au commencement de ce numéro.

73. Depuis quelques années on emploie pour transmettre le mouvement, surtout à de grandes distances, des *câbles en fil de fer ou en fil d'acier*, passant sur des poulies à gorge. Dans diverses industries, par ce procédé, on a transmis des puissances de 1 à 40 chevaux à des distances qui ont varié de 30^m à plusieurs centaines de mètres. Suivant le diamètre, le mètre courant de câble en fer coûte de $0^f,75$ à $1^f,25$, et il pèse de $0^k,12$ à $0^k,35$.

MACHINES SIMPLES.

74. *Levier* (*Int.*, 1407 et suiv.). La perpendiculaire Oa, abaissée d'un point O sur la direction d'une force P, est le *bras de levier* de cette force par rapport à ce point.

Fig. 4.



Le produit $P \times Oa$ de la force par son bras de levier est le *moment* de la force.

Le bras de levier d'une force par rapport à une droite est la perpendiculaire commune à la droite et à la direction de la force.

Le moment de la force par rapport à cette droite, appelée *axe des moments*, est le produit de la force par son bras de levier. Cette définition suppose la force située dans un plan normal à l'axe; s'il n'en était pas ainsi, son moment serait le produit de son bras de levier par la projection de la force sur un plan perpendiculaire à l'axe.

Lorsque toutes les forces qui sollicitent un corps solide, qui ne peut que tourner autour d'un de ses points, sont situées dans un même plan avec ce point, il ne peut y avoir mouvement autour du point que dans le plan des forces. Un tel système constitue un *levier*, qui

n'est ordinairement, dans la pratique, qu'une tige rigide mobile autour d'un petit axe, qui est perpendiculaire au plan du mouvement et que l'on suppose réduit au point où il rencontre ce plan.

Un levier est sollicité par des forces qui tendent les unes à produire l'oscillation, et les autres à s'y opposer en agissant en sens contraire. Les premières de ces forces sont les *puissances* et les secondes les *résistances.*

Pour qu'un levier AB sollicité par une puissance P et une résistance Q soit en équilibre, on doit avoir, en négligeant le frottement de l'axe,

$$P : Q = Ob : Oa, \quad \text{d'où} \quad P \times Oa = Q \times Ob;$$

c'est-à-dire que les forces doivent être entre elles en raison inverse de leurs bras de levier, ou encore le moment de la puissance doit être égal au moment de la résistance.

L'équation précédente permet de calculer une des quatre quantités P, Q, Oa et Ob, les trois autres étant données. Pour $P = 65^k$, $Oa = 2^m$ et $Ob = 1^m,10$, on a

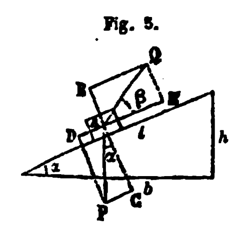
$$Q = P \times \frac{Oa}{Ob} = 65 \times \frac{2}{1,10} = 118^k,18.$$

La pression sur le point d'appui O, abstraction faite du poids du levier, est égale à la résultante des deux forces P et Q.

Un levier est dit du *premier genre* quand le point d'appui O est entre les points d'application de la puissance et de la résistance (*fig.* 4), et il est dit du *deuxième* ou du *troisième genre*, selon que le point d'application de la résistance est entre celui de la puissance et le point d'appui, ou que le point d'application de la puissance est entre celui de la résistance et le point d'appui.

73. *Plan incliné* (*Int.*, 1546).

Fig. 5.



Le corps glissant par son propre poids, pour qu'il y ait équilibre dynamique, on doit avoir

$$P \sin\alpha = fP \cos\alpha, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \text{tang}\,\alpha.$$

P poids du mobile;
α angle que fait le plan incliné avec l'horizon;
f coefficient de frottement (60).

Ainsi, il y aura équilibre dynamique lorsque la tangente de l'angle d'inclinaison du plan à l'horizon sera égale au coefficient de frottement f.

De là résulte un moyen de déterminer le coefficient de frottement de deux corps. Formant le plan incliné avec l'un des corps, et le mobile avec l'autre; puis inclinant doucement le plan jusqu'à ce

que le mobile soit prêt à se mettre en mouvement, c'est-à-dire jusqu'au point où le mobile conserve le léger mouvement qu'on lui imprime, à ce point, le mobile est en équilibre dynamique, et la tangente de l'angle α que fait le plan avec l'horizon est égale au coefficient de frottement f.

Ayant trouvé $\alpha = 12°25'$, on a (*Int.*, 1011), $tang\,\alpha = f = 0{,}22$, valeur donnée par le bronze glissant sur la fonte sans enduit (61).

Pour $f = 0{,}08$, on a $tang\,\alpha = 0{,}08$, et par suite $\alpha = 4°35'$.

Si le mobile est sollicité non-seulement par son poids, mais aussi par une ou plusieurs autres forces dont la résultante Q *agit dans le plan vertical* PAE *passant par le centre de gravité du corps et la ligne de plus grande pente du plan incliné*, pour qu'il y ait équilibre dynamique, on doit avoir

$$P\,sin\,\alpha = Q\,cos\,\beta + f(P\,cos\,\alpha - Q\,sin\,\beta), \quad \text{d'où} \quad Q = P\,\frac{sin\,\alpha - f\,cos\,\alpha}{cos\,\beta - f\,sin\,\beta}. \qquad (1)$$

β angle que fait la force Q avec la partie AE de la ligne de plus grande pente. Il faut donner à $cos\,\beta$ un signe négatif quand l'angle β est plus grand qu'un droit (*Int.*, 968).

Si le mobile montait le plan incliné au lieu de le descendre, on aurait, pour l'équilibre dynamique,

$$Q\,cos\,\beta = P\,sin\,\alpha + f(P\,cos\,\alpha - Q\,sin\,\beta), \quad \text{d'où} \quad Q = P\,\frac{sin\,\alpha + f\,cos\,\alpha}{cos\,\beta + f\,sin\,\beta}.$$

Si la force Q, au lieu d'agir de manière à tendre à soulever le mobile de dessus le plan incliné, comme nous l'avons supposé dans les deux formules précédentes et dans la figure, *agissait en dessous de* DE *de manière à presser le mobile sur le plan*, il suffirait simplement de remplacer le signe — de $Q\,sin\,\beta$ par le signe + dans les deux formules précédentes.

Dans le cas où l'angle α est nul, c'est-à-dire quand le plan est horizontal, on a $sin\,\alpha = 0$ et $cos\,\alpha = 1$, $Q\,cos\,\beta$ est seul puissance, et l'équation d'équilibre dynamique est

$$Q\,cos\,\beta = f(P \pm Q\,sin\,\beta), \quad \text{d'où} \quad Q = P\,\frac{f}{cos\,\beta \pm f\,sin\,\beta}.$$

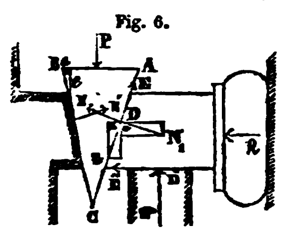
Si l'angle β était nul, c'est-à-dire si Q *agissait parallèlement au plan incliné*, on aurait $sin\,\beta = 0$, $cos\,\beta = \pm 1$, et l'équation (1) deviendrait

$$P\,sin\,\alpha = \pm Q + f P\,cos\,\alpha.$$

Enfin, si à la fois les angles α et β étaient nuls, on aurait, pour l'équilibre dynamique,

$$Q = fP. \qquad (60)$$

76. *Équilibre dynamique de la presse à coin (Int., 1549).*


Fig. 6.

Pour l'équilibre dynamique, on doit avoir

$$P=\frac{2(1+f\,tang\,\alpha)}{tang\,\alpha-2f-f^2\,tang\,\alpha}\,Q. \quad (a)$$

P force motrice agissant normalement à la tête du coin;
Q résistance utile qu'oppose la matière à comprimer;
α angle que fait la tête du coin avec chacune des faces travaillantes;
f coefficient de frottement (60), que l'on suppose être le même pour les deux faces travaillantes du coin et pour le bloc interposé entre le coin et la matière sur son support.

Pour $Q=1000$ kil., $\alpha=87°\,10'$, d'où (*Int.*, 1011) $tang\,\alpha=20,205\,553$, ou sensiblement 20,2, et $f=0,16$, qui convient au chêne frotté de savon sec glissant sur chêne, les fibres étant parallèles (61), l'équation précédente donne

$$P=\frac{2(1+0,16\times20,2)}{20,2-2\times0,16-0,16\times0,16\times20,2}\times1000=0,437\times1000=437^k.$$

Telle est la relation qui doit exister entre la puissance P et la résistance utile Q pour qu'il y ait équilibre dynamique, c'est-à-dire pour que le moindre effort mette la presse en mouvement, et que ce mouvement se conserve uniforme quand cet effort additionnel cesse son action. Il est évident qu'un tel mouvement ne peut se réaliser qu'autant que la résistance Q reste constante, ce qui n'a pas lieu quand on comprime des matières; mais, dans toutes les positions, les valeurs de P et Q sont liées par la relation précédente.

L'application qui vient d'être faite montre que cette presse est peu avantageuse pour obtenir de grandes compressions, et qu'il ne convient guère de l'employer quand la force motrice n'est qu'une simple pression, et non le résultat d'un choc.

Relation entre le travail moteur et le travail utile résistant.

Pour un abaissement e du coin, le bloc comprimant avançant de $2e'$, les travaux moteur et utile sont

$$P\times e \quad \text{et} \quad Q\times2e'.$$

On a (*Int.*, 1000) $\qquad e=e'\,tang\,\alpha. \qquad (b)$

Multipliant membre à membre les équations (*a*) et (*b*), on obtient

$$Pe=\frac{tang\,\alpha+f\,tang^2\alpha}{tang\,\alpha-2f-f^2\,tang\,\alpha}\,Q\times2e'. \quad (c)$$

Formule donnant le travail moteur Pe en fonction du travail utile $Q\times2e'$.

77. *Équilibre dynamique de la presse à vis à filets carrés* (*Int.*, 1554).

Fig. 7.

Appelant :

P la puissance agissant dans un plan perpendiculaire à l'axe. La force P est supposée répartie uniformément autour de l'axe de la vis, afin qu'elle ne fasse naître aucune pression contre la surface latérale des filets; ainsi elle est composée, par exemple, de deux forces $\frac{1}{2}P$ formant un couple dont le bras de levier est divisé en deux parties égales par l'axe;

r le bras de levier de la puissance P;

r' le rayon moyen de la surface hélicoïdale en contact; ordinairement la section des filets est un carré;

r'' le rayon de la surface par laquelle le bout de la vis frotte sur AB;

α l'angle que fait l'hélice moyenne, ou mieux la tangente à cette hélice, avec le plan perpendiculaire à l'axe;

h le pas de l'hélice (*Int.* 1468); c'est l'espace parcouru suivant l'axe de la vis pour une révolution de cette vis; si la vis est à un simple filet, h est la distance d'axe en axe de 2 filets consécutifs, et suivant que la vis est à 2 ou 3 filets, h est égale à 2 ou 3 fois cette distance; h est toujours la distance d'axe en axe de 2 filets consécutifs pris sur la même spire.

f le coefficient de frottement, que l'on suppose être le même pour les filets et le bout de la vis;

Q la résistance utile que la matière oppose au mouvement de translation de la vis; elle agit suivant l'axe de la vis,

on a, pour l'équilibre dynamique,

$$P = Q\left(\frac{r'}{r} \times \frac{\tan\alpha + f}{1 - f\tan\alpha} + \frac{2}{3} f \frac{r''}{r}\right), \qquad (a)$$

ou, en remplaçant $\tan\alpha$ par son égal $\frac{h}{2\pi r'}$,

$$P = Q\left(\frac{r'}{r} \times \frac{h + 2\pi r' f}{2\pi r' - fh} + \frac{2}{3} f \frac{r''}{r}\right). \qquad (b)$$

Dans le cas où on néglige le frottement du bout de la vis sur la surface AB, ces formules deviennent respectivement

$$P = Q\frac{r'}{r} \times \frac{\tan\alpha + f}{1 - f\tan\alpha}, \quad \text{et} \quad P = Q\frac{r'}{r} \times \frac{h + 2\pi r' f}{2\pi r' - fh}.$$

Application. Pour $Q = 9000$ kil., $r = 1^{m},00$, $r' = 0^{m},034$, $r'' = 0^{m},025$, $h = 0^{m},016$ et $f = 0,08$, la formule (*b*) donne

$$P = 9000\left(\frac{0,034}{1} \times \frac{0,016 + 2 \times 3,14 \times 0,034 \times 0,08}{2 \times 3,14 \times 0,034 - 0,08 \times 0,016} + \frac{2 \times 0,025 \times 0,08}{3}\right) =$$

$$= 9000\,(0,005299 + 0,001333) = 9000 \times 0,006632 = 59^{k},69;$$

au lieu de $\quad P = 9000 \times 0,005299 = 47^{k},69,$

quand on ne tient pas compte du frottement du bout de la vis; ce frottement n'est donc pas négligeable.

78. *Équilibre dynamique de la presse à vis à filets triangulaires.* Le plan méridien passant par l'axe de la vis coupe le filet suivant un triangle isocèle. Désignant dans ce triangle chacun des côtés égaux par a, la hauteur, qui est la saillie du filet sur le corps de la vis, par s, et le demi-angle au sommet par β, on a $\cos\beta = \frac{s}{a}$, et représentant par m ce rapport $\frac{s}{a}$, les formules (a) et (b) du n° précédent deviennent respectivement, en conservant aux lettres les mêmes significations :

$$P = Q\left(\frac{r'}{r} \times \frac{m \tang\alpha + f}{m - f\tang\alpha} + \frac{2}{3} f \frac{r''}{r}\right)$$

et

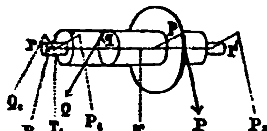
$$P = Q\left(\frac{r'}{r} \times \frac{mh + 2\pi r' f}{2\pi r' m - fh} + \frac{2}{3} f \frac{r''}{r}\right).$$

Pour les vis en chêne, orme, etc., l'angle β est égal à 45°, d'où $\cos\beta = \frac{s}{a} = m = 0{,}707$; pour celles en bois plus durs, comme le buis, le cormier, le sorbier, etc., et pour celles en fer, on fait

$$\beta = 30°, \quad \text{d'où} \quad m = 0{,}866.$$

79. *Treuil.* (*Int.*, n°ˢ 1448 et suivants). En négligeant les frottements des tourillons du treuil (*fig.* 8), on a, pour l'équilibre dynamique,

Fig. 8.



$$P \times 2\pi p = Q \times 2\pi q, \quad \text{d'où} \quad Pp = Qq.$$

P puissance ou force motrice agissant dans un plan normal à l'axe du treuil ;
p bras de levier de P, par rapport à l'axe du treuil ;
Q résistance vaincue agissant dans un plan normal à l'axe du treuil ;
q bras de levier de Q, par rapport à l'axe du treuil.

Les forces P et Q peuvent ne pas être parallèles entre elles.

80. En tenant compte du frottement des tourillons du treuil, la formule précédente devient

$$Pp = Qq + fRr + fR'r'.$$

f coefficient de frottement des tourillons sur leurs coussinets ;
r et r' rayons des tourillons ;
R et R' résultantes des composantes des trois forces : le poids du treuil, la puissance P et la résistance Q, décomposées chacune en deux autres agissant dans des plans normaux à l'axe, au milieu de la longueur des tourillons r et r' (*Int.*, 1365, 1390) ;
fRr et $fR'r'$ moments des frottements des tourillons.

Comme R et R' dépendent de Q, on résoudra l'équation précédente par tâtonnement : on déterminera d'abord Q en négligeant le frotte-

ment des tourillons (79); ayant Q, on déterminera les valeurs correspondantes de R et R', par les décompositions indiquées plus haut et figure 8; ces valeurs, substituées dans l'équation précédente, donneront une deuxième valeur de Q plus exacte que la première. Opérant sur cette seconde valeur de Q comme pour la première, on obtiendra une troisième valeur s'approchant encore plus de la vérité, et en continuant ainsi de suite, on obtiendra pour Q une valeur aussi exacte qu'on voudra. Dans la pratique, on pourra généralement considérer la deuxième valeur de Q comme suffisamment approchée de la valeur réelle.

81. *Cabestan.* Si, outre les forces P et Q qui sollicitent le treuil en agissant dans des plans normaux à son axe, une force F agit parallèlement à cet axe, comme cela arrive dans les cabestans, qui ne sont autre chose que des treuils à axe vertical, dont le poids, au lieu de se reporter sur le contour des tourillons, agit sur la face horizontale du pivot inférieur, la formule posée pour le treuil (80) devient

$$Pp = Qq + fRr + fR'r' + f'F\frac{2}{3}r''.$$

$f'F\frac{2}{3}r''$ moment du frottement de la face horizontale du pivot (64);
f' coefficient de frottement qui peut être différent de celui du pourtour du pivot;
r'' rayon de la surface frottante horizontale du pivot.

82. *Frottement des engrenages.* Lorsqu'un corps se meut en roulant et glissant à la fois sur un autre corps, on admet que le travail total absorbé par les deux frottements est le même que si un simple frottement de glissement avait lieu sur la différence des chemins parcourus réciproquement par une surface sur l'autre, et un simple frottement de roulement sur le plus petit des chemins parcourus (*Int.*, 1550). Dans les engrenages, les deux mouvements de roulement et de glissement sont réunis, et on trouve, en négligeant le frottement de roulement, qui est toujours très-faible (*Int.*, 1551),

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_u \times \frac{fa}{2}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right). \qquad (1)$$

$\mathcal{T}_m$ travail moteur dépensé par la roue qui conduit;
$\mathcal{T}_u$ travail utile dont on peut disposer sur l'arbre de la roue conduite;
$\mathcal{T}_u \times \frac{fa}{2}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$, travail absorbé par le frottement;
f coefficient de frottement, variable suivant la nature des dents et la manière dont elles sont graissées (61);
a pas de l'engrenage; c'est la distance d'axe en axe de deux dents consécutives, prise sur la circonférence primitive;
r et r' rayons des circonférences primitives ou de contact des deux roues.

La formule précédente fait voir que pour des roues de rayons donnés

le travail absorbé par le frottement est proportionnel au pas a, qu'il faut par conséquent prendre le plus petit possible. La même formule montre encore que pour les mêmes valeurs de a, r et r', le rapport entre le travail moteur et le travail utile est le même, quelle que soit la roue qui commande l'autre.

Pour les engrenages cylindriques, on peut mettre la formule précédente sous la forme plus commode

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_u f \pi \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n'}\right). \qquad (2)$$

n et n' nombres de dents contenus dans les engrenages.

Application. On a $\mathcal{T}_m = 300^{\text{km}}$ par seconde, la roue motrice a 100 dents et le pignon 24, le graissage des dents est bien fait et donne $f = 0{,}08$; il s'agit de déterminer le travail utile $\mathcal{T}_u$ que pourra transmettre l'arbre du pignon dans une seconde.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la dernière expression de $\mathcal{T}_m$, on a

$$300 = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_u \times 0{,}08 \times 3{,}14 \left(\frac{1}{100} + \frac{1}{24}\right),$$

d'où l'on tire $$\mathcal{T}_u = \frac{300}{1 + 0.0145} = 295^{\text{km}}.71.$$

Le travail absorbé par le frottement en une seconde est égal à

$$\mathcal{T}_m - \mathcal{T}_u = 300 - 295.71 = 4^{\text{mk}}.29.$$

83. Pour les *engrenages coniques*, a, r et r' étant le pas et les rayons moyens, c'est-à-dire au milieu de la longueur de la dent sur la génératrice de contact, appelant α l'angle que font entre eux les axes des engrenages, les formules (1) et (2) du n° précédent deviennent respectivement

Fig. 9.



$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_u \times \frac{fa}{2} \sqrt{\frac{1}{r^2} + \frac{1}{r'^2} + \frac{2\cos\alpha}{rr'}},$$

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_u \times f\pi \sqrt{\frac{1}{n^2} + \frac{1}{n'^2} + \frac{2\cos\alpha}{nn'}}.$$

Ces formules font voir que le travail absorbé par le frottement augmente depuis $\alpha = 180°$, ce qui correspond aux engrenages plans intérieurs, pour lesquels il est le plus petit, jusqu'à $\alpha = 0$, ce qui correspond aux engrenages droits extérieurs, pour lesquels il est le plus grand. Pour $\alpha = 0$, ces formules reviennent à celles du n° précédent, comme cela devait être.

84. Pour une crémaillère commandée par une roue d'engrenage ou commandant une roue d'engrenage, on a (*Int.*, 1552),

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_u \frac{fa}{2} \times \frac{1}{r}.$$

a pas de l'engrenage et de la crémaillère;
r rayon de la circonférence primitive de l'engrenage.

85. Suivant que les engrenages métalliques sont exécutés avec plus ou moins de soin, l'intervalle entre deux dents consécutives est égal à l'épaisseur de la dent, augmentée de 1/20 à 1/10 de cette épaisseur, c'est-à-dire qu'il y a de 1/20 à 1/10 de jeu entre les dents engrenées; ce jeu varie de 1/10 à 1/6 pour les engrenages à dents de bois.

Pour rendre le frottement des engrenages le plus petit possible, on fait les surfaces de contact en épicycloïde ou en développante de cercle (*Int.*, 1144, 1160); mais, à cause des difficultés d'exécution, pour les engrenages ordinaires, on se contente d'arcs de cercle décrits avec le pas de l'engrenage pour rayon, et d'un centre pris sur la circonférence primitive, ou un peu plus rapproché de l'axe de la roue; des constructeurs prennent les 3/4 du pas pour rayon. Le reste des joues de chaque dent est un plan tangent à ces arcs et passant par le centre de la roue. C'est surtout pour les engrenages à grosses dents qu'il convient de recourir aux tracés en épicycloïde ou en développante; mais la développante de cercle donne des dents qui diminuent trop rapidement d'épaisseur, lorsque le nombre des dents est inférieur à 30.

Pour les engrenages coniques, il faudrait prendre des développantes ou des épicycloïdes sphériques; mais on se contente également d'arcs de cercle. (Voir la résistance des matériaux pour les dimensions des différentes parties des roues d'engrenage.)

86. *Travail observé par le frottement du bouton d'une manivelle.* Pour obtenir ce travail, on développe la circonférence du bouton de la manivelle, et on élève aux différents points de ce développement, que l'on considère comme axe des abscisses, des perpendiculaires ou ordonnées représentant l'intensité du frottement correspondant à ces différents points; l'aire de la courbe ainsi obtenue, que l'on peut calculer à l'aide de la formule de Thomas Simpson ou de celle de M. Poncelet, représente le travail absorbé par le frottement pour une révolution (*Int.*, 1178 et 1179).

L'intensité du frottement correspondant à un point quelconque de l'axe des abscisses est représentée par le coefficient de frottement multiplié par la pression qu'exerce la bielle sur le bouton de la manivelle, au moment où son axe rencontre ce bouton au point considéré.

Si la bielle exerce un effort constant sur le bouton de la manivelle, le travail absorbé par le frottement est le même que pour un tourillon ordinaire (64), et, pour une révolution de la manivelle, on a

$$\mathcal{T}_a = 2\pi r f P.$$

$\mathcal{T}_a$ travail absorbé;
r rayon du bouton de la manivelle;

f coefficient de frottement;
P pression constante de la bielle sur le bouton de la manivelle.

Cette formule fait voir que le travail absorbé est proportionnel au rayon r, qu'il faudra par conséquent prendre le plus petit possible. Aussi doit-on éviter l'emploi des excentriques pour la transmission des grands efforts, l'expression du travail absorbé par le frottement étant la même que pour le bouton d'une manivelle, et r étant très-grand, puisque c'est le rayon de figure de l'excentrique.

87. Une *manivelle* peut être *à double effet* ou *à simple effet*. Dans le premier cas, qui est celui supposé formule n° 86, la force qui agit sur la bielle est dirigée dans un sens pendant la première moitié de la révolution de la manivelle, et dans l'autre sens pendant la seconde moitié. Dans le deuxième cas, la force n'agit que dans un sens et ne sollicite la manivelle que pendant la moitié de sa révolution ; de telle sorte que le travail absorbé par le frottement, pour une révolution complète de la manivelle, n'est que

$$\pi r f P.$$

88. *Équilibre dynamique d'une manivelle à double effet.* Cet équilibre ne peut être que périodique (49), et on doit avoir, pour une période ou un tour de manivelle, en négligeant les frottements,

$$Q \times 2\pi R = F \times 4R, \quad \text{d'où} \quad Q = \frac{2}{\pi} F.$$

Q résistance agissant sur l'arbre de la manivelle à l'extrémité d'un bras de levier constant que l'on suppose égal au rayon de la manivelle;
R rayon de la manivelle;
$2\pi R$ chemin parcouru par la résistance Q pour un tour de manivelle;
$Q \times 2\pi R$ travail absorbé par la résistance Q, aussi pour un tour de manivelle;
F force agissant sur l'axe de la bielle, que l'on suppose assez long pour qu'on puisse le considérer comme restant toujours parallèle à lui-même, et négliger sa variation de direction;
$4R$ espace parcouru par la puissance F pour un tour de manivelle, c'est-à-dire pour une allée et une venue de la bielle;
$F \times 4R$ travail développé par la puissance F, aussi pour un tour de manivelle ou une allée et une venue de la bielle.

Pendant chaque demi-révolution de la manivelle, le moment de la puissance F, par rapport à l'axe de la manivelle, varie pour toutes les positions de la bielle, et les valeurs minimum, moyenne et maximum de ce moment, valeurs qui sont les mêmes pour un tour entier de manivelle, sont respectivement :

$$F \times 0, \quad F \times \frac{2}{\pi} R, \quad F \times R;$$

quantités qui sont dans le rapport des nombres :

	0,	0.637,	1,
ou	0,	1,	1.57.

$$n \times 75^{km} = \frac{F \times 2R}{60} m,$$

et pour une manivelle à double effet (88),

$$n \times 75^{km} = \frac{F \times 4R}{60} m.$$

C'est à l'aide de ces relations que l'on passe des formules (*a*) et (*c*) à celles (*b*) et (*d*).

Pour deux manivelles à double effet montées à angle droit sur le même arbre, la formule (*d*) devient

$$P = \frac{468n}{mV^2} K.$$

Pour les machines à vapeur à basse pression, Watt fait, dans les cas ordinaires de la pratique, $K = 32$; ce coefficient varie de 35 à 40 quand les machines commandent des filatures où l'on fabrique les *numéros* 40 à 60, et de 50 à 60 pour des filatures à *numéros* très-fins (voir la 3e partie).

Le *numéro* d'un fil de coton est le nombre d'écheveaux de 1000 mètres pesant ensemble un demi-kilogramme. Ainsi le demi-kilogramme du numéro 50 contient 50 écheveaux.

K atteint parfois la valeur 25 pour des machines ou des usines qui n'ont pas besoin d'une grande régularité de mouvement, comme des scieries, des moulins à blé, des pompes, etc., et il atteint même 20 pour des marteaux de forge (119).

L'examen des formules précédentes fait voir que le poids du volant est d'autant plus petit que la vitesse de la jante est plus grande. L'expérience prouve que cette vitesse peut atteindre 25 à 30 mètres par seconde, mais qu'il est dangereux de dépasser cette limite.

Le rayon du volant est ordinairement égal à 5 ou 6 fois celui de la manivelle.

Application. En appliquant la formule (*d*) à une machine à basse pression, de la force de 40 chevaux, faisant marcher la filature de Logelbach, près Colmar, on trouve, pour le poids de la jante du volant, 9320 kilog., au lieu de 9450 kilog., comme l'avaient adopté les constructeurs MM. Watt et Boulton.

Le diamètre moyen de la jante est de 6m,10, et le nombre de tours du volant, 19 par minute, ce qui donne une vitesse de 6m,06 par seconde. Les numéros des fils de coton varient de 40 à 60, ce qui a fait adopter 35 pour la valeur de K.

94. *Volant pour une manivelle à simple effet et à contre-poids.* Si, sur le prolongement d'une manivelle, au-delà de son centre de rotation, on place un contre-poids tel, que le travail qu'il absorbera en s'élevant et restituera en descendant soit moitié de celui que produit la force motrice pour la 1/2 révolution pendant laquelle elle agit, cette manivelle agira comme une manivelle à double effet, et le poids du volant sera donné par la formule

$$PV^2 + Qv^2 = \frac{4645n}{m} K.$$

P, V, n, m, K, ont les mêmes significations qu'au numéro précédent;
Q poids du contre-poids;
v vitesse moyenne du centre de gravité du contre-poids.

Remarque. Les formules des nos 93 et 94 s'appliquent encore au cas où le volant n'est pas placé sur l'arbre même de la manivelle, pourvu que m exprime toujours le nombre de tours de la manivelle par minute, tandis que V et v expriment les vitesses de la jante du volant et du contre-poids; mais, dans la pratique, il faut toujours placer le volant sur l'arbre des organes qui rendent irrégulière la transmission ou l'absorption du travail moteur, et le plus près possible de ces organes.

95. *Équilibre dynamique de l'excentrique.* Dans une transmission de mouvement au moyen d'un excentrique, l'équilibre est périodique, et on doit avoir

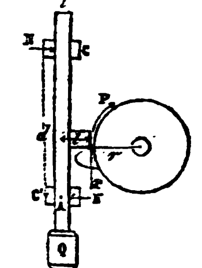
$$P \times 2\pi R = 4Fd + fF \times 2\pi r.$$

P puissance qui agit sur l'arbre de l'excentrique;
R bras de levier de la puissance;
F résistance appliquée à la bielle que met en mouvement l'excentrique;
d distance du centre de rotation au centre de figure de l'excentrique, ou 1/2 espace parcouru par la résistance pour une demi-révolution de l'excentrique;
f coefficient du frottement au pourtour de l'excentrique;
r rayon de figure de l'excentrique;
$P \times 2\pi R$ travail dépensé par la puissance pour une révolution de l'excentrique;
$4Fd$ travail utile produit *id.*
$fF \times 2\pi r$ travail absorbé par le frottement *id.*

L'excentrique présente les mêmes irrégularités de mouvement que la manivelle (88, 89, 90, 91).

96. *Équilibre dynamique du pilon* (*Int.*, 1553). Supposant que la puissance agit verticalement sous le mentonnet, pendant toute la course d'un pilon guidé par deux prisons, pour qu'il y ait équilibre dynamique, on doit avoir, pour chaque levée,

Fig. 10.



$$T_m \text{ ou } Ph = Qh \frac{d}{d - 2lf} \qquad (a)$$

P force motrice agissant verticalement à l'extrémité du mentonnet;
h levée du pilon;
Ph travail moteur dépensé par levée du pilon;
Q poids du pilon et de sa tige;
Qh travail utile produit;
d distance d'axe en axe des deux prisons ou guides;
l longueur du mentonnet ou distance du point d'application de la puissance à l'axe de la tige;
i épaisseur de la tige dans le sens de l;
f coefficient de frottement de la tige sur ses guides.

La formule précédente fait voir que le travail utile Qh est d'autant plus petit, pour un même travail moteur Ph, que l est plus grand, et que si l'on suppose $l = 0$, c'est-à-dire que la force P est appliquée à l'axe de la tige et agit suivant cet axe, on a

$$Ph = Qh.$$

Ce qui montre que le travail utile est alors égal au travail moteur, et que par conséquent le frottement contre les prisons est nul.

Quand le pilon est soulevé par une came, comme cela a lieu ordinairement, le travail absorbé par le frottement de la came sous le mentonnet est analogue à celui absorbé par le frottement d'un pignon s'engrenant avec une crémaillère (84) ; seulement le pas a est remplacé par h. En tenant compte de ce frottement, et en supposant que son coefficient est le même que pour les prisons, la formule (a) devient

$$\mathcal{T}_m = Qh \frac{d(2r + fh)}{2r(d - 2lf + f^2i)}.$$

n étant le nombre des coups de pilon donnés pendant une révolution de l'arbre à cames, et P la force motrice tangentielle qui agit à l'extrémité du rayon r, on doit avoir, pour l'équilibre dynamique,

$$n\mathcal{T}_m = 2\pi r P,$$

d'où
$$P = \frac{n\mathcal{T}_m}{2\pi r} = nQh \frac{d(2r + fh)}{4\pi r^2(d - 2lf + f^2i)}.$$

Les cames se font en développante de cercle (*Int.*, 1144).

La durée totale d'un coup de pilon se compose du temps t que met la came à élever le pilon à la hauteur h, de celui $t' = \sqrt{2gh}$ de la descente du pilon, et de 1/10 à 1/6 de $t + t'$ pour le temps employé par le pilon à agir sur la matière, qui peut être plus ou moins compressible.

97. *Choc des corps solides.* Quand deux corps solides, en vertu de vitesses acquises sous l'influence de causes quelconques, tendent à occuper au même instant une même partie de l'espace, dès qu'ils arrivent à être ce qu'on appelle en contact, il se déclare des actions mutuelles répulsives qui atteignent un degré suffisant d'intensité pour modifier en grandeur ou en direction, ou à la fois en grandeur et en direction, les vitesses primitives des deux corps, de manière que ceux-ci ne viennent pas occuper la même portion de l'espace au même instant, et par là satisfont à la loi générale de l'*impénétrabilité de la matière* (*Int.*, 1381 et suivants).

Lorsque deux corps se rapprochent ainsi de manière à donner naissance à ces actions mutuelles par leurs changements plus ou moins sensibles de forme, on dit qu'il y a *choc* ou *collision* entre les deux corps.

Le choc de deux corps n'influe en rien sur le mouvement du centre

de gravité du système, mouvement qui ne dépend en intensité et en direction que des forces extérieures (*Int.*, 1488).

98. *Vitesse du centre de gravité de l'ensemble de deux corps solides après leur choc* (*Int.*, 1525).

Supposons le cas le plus simple, celui où les centres de gravité des deux corps se meuvent suivant une même droite par rapport à laquelle les deux corps sont symétriques. C'est à ce cas que l'on ramène les applications pratiques sur le choc.

Le centre de gravité de l'ensemble se mouvra sur la droite suivie par les deux corps, comme si le choc n'avait pas lieu; de plus, il est évident que la vitesse de chacun des corps en particulier ne changera pas de direction, mais bien d'intensité, et même l'une pourra changer de signe.

Soient m et m' les masses des deux corps, v et v' leurs vitesses respectives avant le choc, et u la vitesse du centre de gravité.

Dès que le choc commence, les actions mutuelles égales agissent en sens contraire sur chacun des deux mobiles, et produisent des changements de formes et des vibrations qui dépendent de la nature et de la forme des corps.

Si la vitesse relative des deux corps l'un par rapport à l'autre est faible, et que les corps aient une certaine consistance, on peut admettre que le changement de forme pendant le choc s'étend à peu de distance du point de contact, et que les vibrations des molécules sont très-faibles; d'où il résulte que le mouvement de toutes les molécules de chacun des corps peut être considéré comme n'étant qu'un simple mouvement de translation, qui est le même pour toutes les molécules.

En se plaçant dans cette hypothèse, V étant la vitesse commune à tous les points et au centre de gravité du solide de masse m à un instant quelconque du choc, et V' celle de tous les points et du centre de gravité du solide de masse m' au même instant, on a, en négligeant pendant le choc les impulsions des forces extérieures, s'il y en a, ce que l'on peut faire, puisque la durée du choc est très-petite (*Int.*, 1487),

$$mV + m'V' = mv + m'v'.$$

Il y a toujours, pendant le choc, un instant où les centres de gravité des deux corps ont la même vitesse, qui est aussi la vitesse u du centre de gravité du système; à cet instant, l'équation précédente devient

$$(m + m')u = mv + m'v',$$

d'où

$$u = \frac{mv + m'v'}{m + m'}.$$

u est la vitesse du centre de gravité, et sensiblement aussi celle de tous les points du système à l'instant considéré, dans le cas de très-faibles vibrations.

Lorsque les deux corps ne sont pas élastiques, c'est-à-dire quand ils conservent les formes que des forces quelconques peuvent leur donner, les actions mutuelles cessent leur effet dès que la vitesse u est devenue commune aux deux corps; alors les deux corps se meuvent en restant en contact, tant que des forces extérieures ne viennent pas modifier leur vitesse commune u.

Les formules précédentes s'appliquent au cas où les corps marchent en sens contraires, comme à celui où ils vont dans le même sens; seulement il faut avoir égard aux signes qu'il convient de donner aux valeurs de v et v', et par suite à celles de mv et $m'v'$. Le signe de u est toujours celui de la plus grande quantité de mouvement.

Si les deux quantités de mouvement sont égales et de signes contraires, la formule précédente donne $u = 0$; ce qui montre que les corps arrivent au repos, et y restent s'ils sont dénués d'élasticité.

Dans le cas où l'un des corps est au repos, c'est-à-dire où l'on a $v' = 0$, l'équation précédente devient

$$(m + m')u = mv, \quad \text{d'où} \quad u = \frac{mv}{m + m'}. \qquad (a)$$

99. *Perte de force vive due au choc de deux corps non élastiques.*

Si les corps restent unis après s'être comprimés, et qu'on néglige les vibrations auxquelles peuvent être soumises les molécules des deux corps, il y a perte de force vive dans le système, puisque, pendant la compression des deux corps, et jusqu'au moment où la même vitesse est devenue commune aux deux corps, les molécules voisines du contact se sont rapprochées, et par suite les actions mutuelles répulsives de ces molécules ont produit un travail négatif, d'où il est résulté une perte de force vive (*Int.*, 1489).

Le travail dû aux forces moléculaires, et par suite la perte de force vive du système, ne dépendant que du mouvement relatif des deux corps, il en résulte que pour calculer cette perte, on peut supposer que l'un des corps est en repos et que l'autre vient le choquer avec une vitesse absolue égale à la vitesse relative du système.

Soit donc v la vitesse de la masse choquante m, et $v' = 0$ la vitesse de la masse choquée m'.

La force vive du système avant le choc est $\frac{1}{2}mv^2$. Après le choc, toutes les molécules des deux corps ayant la même vitesse u, à cet instant la force vive du système est (29)

$$\frac{1}{2}(m + m')u^2.$$

La perte de force vive due au choc est alors

$$\varphi = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}(m + m')u^2.$$

Remplaçant dans cette expression u par sa valeur (a) (98), on obtient

$$\varphi = \frac{1}{2}\frac{mm'v^2}{m+m'}.$$

Établissant un certain rapport entre m et m', c'est-à-dire faisan $m' = Nm$, on conclut

$$\varphi = \frac{1}{2}mv^2\frac{1}{1+\frac{1}{N}}.$$

Formule qui fait voir que la perte de force vive est d'autant plus petite que la valeur de N est plus petite, c'est-à-dire que la masse choquante est plus grande par rapport à la masse choquée.

100. *Corps exécutant un mouvement de rotation autour d'un axe fixe.* On appelle *vitesse angulaire* d'un corps tournant autour d'un axe, la longueur de l'arc décrit, ou qui serait décrit si le mouvement, en restant uniforme, était suffisamment prolongé, pendant l'unité de temps, par un point situé à l'unité de distance de l'axe et lié invariablement au corps.

ω étant la vitesse angulaire d'un corps, et v la vitesse d'un quelconque de ses points situé à une distance r de l'axe, on a, en remarquant que les vitesses des divers points sont en raison inverse de leurs distances à l'axe,

$$v : \omega = r : 1, \quad \text{d'où} \quad v = \omega r, \quad \text{et} \quad \omega = \frac{v}{r}.$$

101. *Force vive d'un corps tournant autour d'un axe fixe.* Lorsqu'un élément matériel m tourne autour d'un axe, sa vitesse étant ωr, sa force vive est (29)

$$\frac{1}{2}m\omega^2r^2.$$

Lorsqu'un corps solide tourne, chacun de ses points matériels possède une force vive d'une expression analogue à la précédente, et en faisant la somme de toutes ces forces vives élémentaires, on a la force vive du corps, qui peut alors être représentée par

$$P = \Sigma\frac{1}{2}m\omega^2r^2,$$

Σ signifiant somme.

Comme $\frac{1}{2}\omega^2$ est commun à toutes les parties de cette somme, on peut le mettre en facteur commun, et poser

$$P = \frac{1}{2}\omega^2\Sigma mr^2.$$

mr^2, produit d'un élément matériel par le carré de sa distance à l'axe de rotation, est ce qu'on appelle *le moment d'inertie de l'élément* m *par rapport à l'axe.*

Σmr^2, somme des moments d'inertie de tous les éléments matériels d'un corps par rapport à un axe, est *le moment d'inertie du corps par rapport à cet axe.*

La formule précédente fait voir que *la force vive d'un solide tournant autour d'un axe fixe est, à un instant quelconque, égale à la moitié du produit du carré de la vitesse angulaire du corps à cet instant par le moment d'inertie du corps par rapport à l'axe de rotation.*

102. *Rayon de gyration.* Il existe une valeur R de r telle, que si toute la matière du corps se trouvait à la distance R de l'axe, la force vive et par suite le moment d'inertie, pour une même vitesse angulaire par rapport au même axe, n'auraient pas changé.

R est ce qu'on appelle le *rayon de gyration.*

Posant (101)

$$F = \frac{1}{2}\omega^2\Sigma mr^2 = \frac{1}{2}\omega^2 R^2 \Sigma m = \frac{1}{2}\omega^2 MR^2,$$

d'où
$$\Sigma mr^2 = R^2\Sigma m = MR^2, \qquad (a)$$

on a
$$R^2 = \frac{\Sigma mr^2}{\Sigma m} = \frac{\Sigma mr^2}{M}.$$

Lorsque les corps sont homogènes, on peut substituer aux masses élémentaires m, les volumes élémentaires u, qui leur sont proportionnels, dans l'équation (a), qui devient

$$\Sigma ur^2 = R^2\Sigma u = UR^2, \quad \text{d'où} \quad R^2 = \frac{\Sigma ur^2}{U};$$

alors le rayon de gyration peut être défini et déterminé indépendamment de toute notion de mécanique.

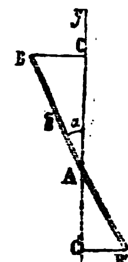
La détermination des rayons de gyration des corps homogènes et de figures géométriques est du domaine du calcul intéral. Nous allons énoncer leurs valeurs pour les corps qui ont des formes employées dans la pratique.

Ayant le rayon de gyration, MR^2 donnera le moment d'inertie, et $\frac{1}{2}\omega^2 MR^2$ la force vive. P étant le poids du corps tournant, on a $M = \frac{P}{g}$, et par suite

$$MR^2 = \frac{P}{g}R^2, \quad \text{et} \quad F = \frac{1}{2}\omega^2\frac{P}{g}R^2.$$

103. *Pour une tige homogène* AB *d'une très-petite section tournant autour de l'axe* Ay *passant par son extrémité*, on a (*Int.*, 1465)

Fig. 11.



$$R^2 = \frac{1}{3}\,\overline{BC}^2.$$

Le moment d'inertie est alors, P étant le poids de la tige (102),

$$\frac{P}{g}\,R^2 = \frac{1}{3}\,\frac{P}{g}\,\overline{BC}^2,$$

et la force vive

$$\frac{1}{6}\,\frac{P}{g}\,\omega^2\overline{BC}^2.$$

Pour la tige BB', *qui est rencontrée par l'axe en un point quelconque de sa longueur*, r étant le rayon de gyration de la partie AB, et r' celui de la partie AB', on a

$$r^2 = \frac{1}{3}\,\overline{BC}^2 \quad \text{et} \quad r'^2 = \frac{1}{3}\,\overline{B'C'}^2.$$

P et P' étant les poids des parties AB et AB' de la tige, les moments d'inertie de ces parties sont respectivement

$$\frac{P}{g}\,r^2 = \frac{1}{3}\,\frac{P}{g}\,\overline{BC}^2 \quad \text{et} \quad \frac{P'}{g}\,r'^2 = \frac{1}{3}\,\frac{P'}{g}\,\overline{B'C'}^2.$$

Le moment d'inertie de la tige totale étant égal à la somme des moments d'inertie des deux parties, on a donc, R étant le rayon de gyration de la tige totale,

$$\frac{P+P'}{g}\,R^2 = \frac{1}{3}\,\frac{P}{g}\,\overline{BC}^2 + \frac{1}{3}\,\frac{P'}{g}\,\overline{B'C'}^2, \quad \text{d'où} \quad R^2 = \frac{P\times\overline{BC}^2 + P'\times\overline{B'C'}^2}{3(P+P')}.$$

Dans le cas où le point A est le milieu, c'est-à-dire le centre de gravité de la tige, on a $B'C' = BC$, $P' = P$ ou $P + P' = 2P$, et la formule précédente donne

$$R^2 = \frac{1}{3}\,\overline{BC}^2.$$

Ce qui fait voir que le rayon de gyration de la tige totale est le même que celui de chacune de ses parties considérées séparément.

Si l'axe rencontrait le prolongement de la tige BB'', on remarquerait que le moment d'inertie de BB'' est la différence des moments d'inertie des tiges BA et B''A, et on l'obtiendrait en suivant la même marche que pour déterminer le moment d'inertie de BB'. Du reste, nous verrons (115) comment, étant connu le moment d'inertie d'un corps par rapport à un axe passant par son centre de gravité, on peut déterminer son moment d'inertie par rapport à un axe quelconque parallèle au premier.

104. *Pour une tige en arc de cercle* AB, *d'une très-petite section, tournant autour de son rayon* OA *passant par une de ses extrémités*, on a

Fig. 12.

$$R^2 = \frac{1}{2}\rho^2\left(1 - \frac{1}{2}\frac{\rho}{l}\sin 2\alpha\right). \qquad (a)$$

$\rho =$ OA rayon de courbure de la tige;
$l =$ arc AB longueur de la tige;
α angle au centre correspondant à l'arc AB.

Pour un quart de cercle, ou un demi-cercle, ou trois quarts de cercle..., c'est-à-dire pour $\alpha = 90°$, $\alpha = 180°$, $\alpha = 270°$... on a $\sin 2\alpha = 0$, et, par suite,

$$R^2 = \frac{1}{2}\rho^2.$$

Ayant R^2, on aura le moment d'inertie en multipliant par la masse $\frac{P}{g}$ de la tige, et ce moment d'inertie multiplié par $\frac{1}{2}\omega^2$, moitié du carré de la vitesse angulaire à un certain instant, donnera la force vive à cet instant.

A l'aide de la formule (a), et en suivant la même marche qu'au numéro précédent, on déterminerait le rayon de gyration, le moment d'inertie et la force vive, soit que l'axe OA rencontre l'arc AB en un point quelconque compris entre A et B, soit qu'il rencontre le prolongement de cet arc.

On verrait encore que quand l'axe rencontre l'arc au milieu, c'est-à-dire quand il passe par son centre de gravité, le rayon de gyration de l'arc entier est le même que pour chacune des deux moitiés prises séparément.

105. *Pour un disque en quart de cercle d'une très-faible et uniforme épaisseur*, tournant autour d'un des rayons qui le limitent, ou pour un demi-cercle qui tourne autour du diamètre qui le limite, ou encore pour trois quarts de cercle et pour un cercle entier, on a

$$R^2 = \frac{1}{4}\rho^2,$$

ρ étant le rayon du disque.

Ayant R^2, on obtiendra facilement le moment d'inertie, puisque, connaissant les dimensions du disque, on peut calculer son volume, lequel, multiplié par la densité de la matière, donne le poids du disque. Ayant le moment d'inertie, on obtient la force vive en le multipliant par la moitié du carré de la vitesse angulaire (102).

106. *Un cylindre droit à base circulaire tournant autour de son axe, ou un secteur quelconque de ce cylindre tournant autour de cet axe*, donne, R étant le rayon de gyration et ρ le rayon du cylindre,

$$R^2 = \frac{1}{2}\rho^2.$$

Ayant R^2, on détermine le moment d'inertie, puis la force vive, comme au numéro précédent.

107. *Pour une jante à section rectangulaire, ou pour une portion de cette jante tournant autour de l'axe*, on a

$$R^2 = \frac{1}{2}(\rho^2 + \rho'^2),$$

ou, en remplaçant les rayons intérieur et extérieur ρ et ρ' de la jante en fonction du rayon moyen $\rho_1 = \frac{\rho + \rho'}{2}$, et de la dimension de la jante mesurée suivant le rayon, $b = \rho - \rho'$,

$$R^2 = \rho_1^2 \left(1 + \frac{1}{4}\frac{b^2}{\rho_1^2}\right).$$

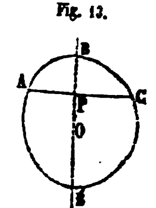
108. *Un cône droit à base circulaire tournant autour de son axe donne, ρ étant le rayon de cette base,*

$$R^2 = \frac{3}{10}\rho^2.$$

109. *Pour un tronc de cône tournant autour de son axe*, on remarquerait que le moment d'inertie du tronc est égal au moment d'inertie du cône total, moins le moment d'inertie du cône retranché pour obtenir le tronc. Ayant le moment d'inertie du tronc, en le divisant par la masse $\frac{P}{g}$ du tronc, on aurait R^2.

110. *Un segment sphérique* ABC, *à une base, tournant autour du diamètre* BB' *perpendiculaire au plan de sa base, c'est-à-dire passant par son centre de gravité*, on a

Fig. 13.



$$R^2 = \frac{h}{10} \times \frac{20\rho^2 - 15\rho h + 3h^2}{3\rho - h}.$$

ρ rayon de la sphère;
$h = $ BP hauteur du segment.

Pour une demi-sphère, $h = \rho$, et la formule précédente devient

$$R^2 = \frac{2}{5}\rho^2.$$

Pour la sphère entière, R^2 a aussi cette dernière valeur.

111. *Pour une zone sphérique* ABC, *à une base* (fig. 13), *tournant autour du diamètre* BB' *perpendiculaire à sa base, l'épaisseur de la calotte étant très-mince*, on a, ρ et h ayant les mêmes significations qu'au numéro précédent,

$$R^2 = h\left(\rho - \frac{h}{3}\right).$$

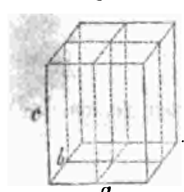
Si la calotte était une demi-sphère, on aurait $h = \rho$, et, par suite,

$$R^2 = \frac{2}{3}\rho^2.$$

Pour une sphère creuse entière et très-mince on aurait aussi cette dernière valeur pour R^2.

112. *Un parallélipipède rectangle ayant* a, b, c *pour arêtes*, *et tournant autour de l'arête* c, *donne* (*Int.*, 1474)

Fig. 14.



$$R^2 = \frac{1}{3}(a^2 + b^2). \qquad (a)$$

Si le parallélipipède, au lieu de tourner autour de c, *tournait autour d'un axe parallèle à* c, *et mené par le milieu de* b, on aurait

$$R^2 = \frac{1}{3}\left(a^2 + \frac{1}{4}b^2\right);$$

ce qui revient à remplacer b par $\frac{1}{2}b$ dans la formule (a).

Si l'axe était mené parallèlement à c *par le centre de figure, qui est aussi le centre de gravité*, il faudrait, dans la formule (a), remplacer b par $\frac{1}{2}b$ et a par $\frac{1}{2}a$; d'où il résulterait

$$R^2 = \frac{1}{12}(a^2 + b^2).$$

113. *Pour un ellipsoïde quelconque*, c'est-à-dire pour un ellipsoïde dont le plan perpendiculaire au grand axe $2a$ détermine, non pas un cercle de diamètre $2b$, comme pour l'ellipsoïde de révolution (*Int.*, 1081), mais une ellipse ayant $2b$ et $2c$ pour axes, on a respectivement, suivant que l'ellipsoïde tourne autour de l'axe $2c$, ou $2b$, ou $2a$:

$$R^2 = \frac{1}{5}(a^2 + b^2), \quad R^2 = \frac{1}{5}(a^2 + c^2), \quad R^2 = \frac{1}{5}(b^2 + c^2).$$

Lorsque l'ellipsoïde est de révolution, on a $c = b$, et les trois formules précédentes se réduisent aux deux suivantes :

$$R^2 = \frac{1}{5}(a^2 + b^2), \quad R^2 = \frac{1}{5}(b^2 + b^2) = \frac{2}{5}b^2,$$

applicables respectivement aux cas où l'ellipsoïde tourne autour de son petit ou grand axe.

Le volume de l'ellipsoïde quelconque étant $\frac{4}{3}\pi abc$, et celui de l'ellipsoïde de révolution, $\frac{4}{3}\pi a^2 b$, ou $\frac{4}{3}\pi b^2 a$, suivant que l'ellipse géné-

ratrice tourne autour du petit ou grand axe (*Int.*, 1083), multipliant ce volume par la densité de la matière, on aura le poids P; on en conclura ensuite la masse $\frac{P}{g}$, puis le moment d'inertie $\frac{P}{g}R^2$.

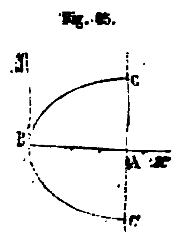
Faisant $a = b = \rho$, les formules relatives à l'ellipsoïde de révolution donnent

$$R^2 = \frac{2}{5}\rho^2.$$

Ce qui devait être, puisqu'alors l'ellipsoïde est une sphère (110).

114. *Pour un cylindre droit à base demi-parabolique ABC tournant autour de l'arête qui se projette en* A, *on a*

Fig. 85.



$$R^2 = \frac{1}{5}\left(\frac{8}{7}a^2 + b^2\right),$$

$$a = AB, \quad b = AC.$$

Pour un cylindre droit à base parabolique BCC', on a la même valeur pour R^2.

On a (*Int.*, 1130) surface ABC $= \frac{2}{3}ab$; connaissant la hauteur du cylindre, on déterminera son volume, puis son poids, et ensuite le moment d'inertie.

115. R étant le rayon de gyration d'un corps par rapport à un axe quelconque, et R' celui par rapport à l'axe passant par le centre de gravité du corps, on a, en appelant k la distance des deux axes,

$$MR^2 = MR'^2 + Mk^2, \quad \text{d'où} \quad R^2 = R'^2 + k^2 \quad (Int., 1477).$$

Ce qui fait voir que *le carré du rayon de gyration d'un système par rapport à un axe quelconque, est égal au carré du rayon de gyration du même système par rapport à l'axe mené parallèlement au premier par le centre de gravité, plus le carré de la distance des deux axes.*

Cette formule est employée dans la pratique, où il arrive souvent que l'on a à déterminer le rayon de gyration par rapport à un axe, pour un corps dont on connaît le rayon de gyration par rapport à un axe parallèle passant par le centre de gravité.

116. *Marteaux. Perte de force vive due au choc des cames.* Considérant une bague à cames comme étant un cylindre plein, le carré de son rayon de gyration est (102 et 106)

$$\frac{1}{2}\rho^2,$$

et son moment d'inertie, en appelant M la masse de la bague,

$$\frac{1}{2}M\rho^2.$$

Appelant M' la masse du corps qui a, en le supposant concentré au

point d'impact, c'est-à-dire au point de la came qui frappe le marteau, le même moment d'inertie que la bague tournant autour de son axe, et R la distance de ce point d'impact à l'axe de rotation, on a

$$M'R^2 = \frac{1}{2} M\rho^2, \quad \text{d'où} \quad M' = \frac{1}{2} M \frac{\rho^2}{R^2}.$$

Il faut calculer de même la masse M'' du corps, lequel, étant appliqué au point d'impact, a le même moment d'inertie que l'arbre de la bague, et posant $m = M' + M''$, m représente la masse choquante à faire intervenir dans la formule du n° 99.

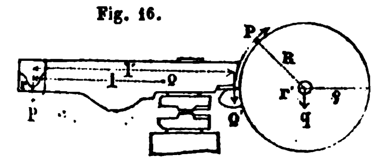
En opérant d'une manière analogue, et en ayant égard à la forme et à la nature des différentes parties du marteau et de son manche, on détermine la masse choquée m', laquelle étant appliquée au point d'impact, a, par rapport à l'axe de la *hurasse*, le même moment d'inertie que le marteau avec son manche.

Ayant m et m', la formule du n° 99 donne la perte de force vive pour chaque soulèvement du marteau, en remarquant que la vitesse du corps choqué est nulle, et que la vitesse moyenne du corps choquant est, n étant le nombre de tours de la bague par minute,

$$v = \frac{2\pi R n}{60}.$$

117. *Équilibre dynamique des marteaux.* Soit un *marteau frontal* (*fig.* 16). On remplace le poids du marteau et de son manche par un poids, lequel, étant appliqué au point d'impact, a, par rapport à l'axe de la hurasse, le même moment que le poids du marteau et de son manche; on en fait autant pour le frottement des tourillons de la hurasse, pour celui des tourillons de l'arbre à cames et pour celui qui s'exerce entre les cames et le marteau; et le travail absorbé pour élever tous ces poids fictifs, augmenté de la perte de force vive due au choc, étant égal au travail que doit produire la puissance, l'équilibre dynamique donne, pour une minute,

Fig. 16.



$$n \times 2\pi RP = nn'h\left(\frac{Ql}{l'} + \frac{fpr}{l'} + \frac{fqr'}{R} + Q'\frac{fh}{2} \times \frac{R + l'}{Rl'}\right) + \frac{nn'}{2} \times \frac{mm'v^2}{m+m'}.$$

n nombre de tours de la bague en une minute;
n' nombre des cames montées sur la bague,
P puissance agissant sur l'arbre à cames à l'extrémité d'un bras de levier égal à la distance du point d'impact à l'axe de l'arbre à cames;
R bras de levier de la puissance P;
h levée du marteau au point d'impact;
Q poids du marteau et de son manche;

l distance du centre de gravité du marteau et de son manche à l'axe de rotation de la hurasse;
l' distance du point d'impact à l'axe de rotation de la hurasse;
$f=0{,}15$ coefficient de frottement des tourillons de la hurasse, et de ceux de l'arbre à cames;
$p=Q\frac{l'-l}{l'}$ poids reposant sur les tourillons de la hurasse; c'est la partie du poids du marteau et de son manche supportée par ces tourillons (*Int.* 1390);
r rayon des tourillons de la hurasse;
q pression des tourillons de l'arbre à cames sur leurs coussinets;
r' rayon des tourillons de l'arbre à cames;
$f=0.25$ coefficient de frottement des cames sous la tête du marteau;
$Q'=\frac{Ql}{l'}$ pression qui s'exerce entre les cames et la tête du marteau, en ne tenant compte que de la pression due au poids du marteau et en négligeant celle qui provient du frottement des tourillons de la hurasse;
m masse choquante transportée au point d'impact, calculée comme il est indiqué n° 116;
m' masse choquée transportée au point d'impact, calculée comme la masse choquante;
$v=\frac{2\pi Rn}{60}$ vitesse moyenne des cames au point d'impact (116);
$n\times 2\pi RP$ travail moteur dépensé par minute;
$Q\frac{l}{l'}$ poids du marteau et de son manche, transporté au point d'impact;
$fp\frac{r}{l'}$ poids qui, étant appliqué au point d'impact, produit le même effet que le frottement des tourillons de la hurasse;
$Q'\frac{fh}{2}\times\frac{R+l'}{Rl'}$ frottement des cames sous la tête du marteau; il est analogue à celui des engrenages (82);
$\frac{n'}{2}\times\frac{mm'v^2}{m+m'}$, perte de force vive due aux chocs des cames sous le marteau (116).

De la formule précédente on tire

$$P=\frac{n'h}{2\pi R}\left(\frac{Ql}{l'}+\frac{fpr}{l'}+\frac{fqr'}{R}+fQ'\frac{h}{2}\times\frac{R+l'}{Rl'}\right)+\frac{n'}{4\pi R}\times\frac{mm'v^2}{m+m'}.$$

Pour un autre genre quelconque de marteau, on déterminerait la valeur de P en opérant d'une manière analogue.

Les marteaux à bascule, dits martinets, employés à l'étirage et au platinage des petits fers, au raffinage des aciers et à la fabrication de divers outils, frappent de 200 à 400 coups par minute, et leur poids, qui diminue à mesure que le nombre des coups frappés augmente, varie, non compris le poids du manche qui est en bois, de 80 à 40 kilog. La longueur totale du manche, comptée depuis l'axe de la tête du marteau, varie de 2m,50 à 3 mètres; le point de rotation est ordinairement aux 2/3 de cette longueur à partir de l'axe de la tête du marteau; cependant il est aux 3/4 et quelquefois plus, quand le marteau doit frapper un grand nombre de coups. Le nombre des cames montées sur la bague varie ordinairement de 14 à 16. Pour une grande vitesse, la levée du

marteau varie de 0m,25 à 0m,27; pour une petite vitesse, elle varie de 0m,50 à 0m,55, et pour une vitesse moyenne, elle est comprise entre 0m,30 et 0m,40.

Les marteaux à soulèvement, employés particulièrement à l'affinage du fer par la méthode allemande, frappent de 70 à 200 coups à la minute, et leur poids, non compris le manche, qui est en bois, varie de 300 à 400 kilog. La longueur du manche, comptée depuis l'axe de la tête du marteau jusqu'au point de rotation de la *bague*, varie de 2m,10 à 2m,60, et la distance de cet axe au point frappé par les cames, de 0m,40 à 0m,55. Il y a ordinairement cinq cames montées sur la bague. La levée du marteau est de 0m,55 environ.

Enfin, *les marteaux frontaux*, mis en usage dans les forges où l'on fabrique le fer par la méthode anglaise, frappent de 60 à 100 coups par minute, et pèsent, y compris le manche, qui est tout en fonte, de 2500 à 4000 kilog., et même quelquefois plus. La longueur du manche, depuis le point d'impact jusqu'à l'axe de rotation, varie de 2m,30 à 2m,80. Le nombre des cames est ordinairement égal à 5. La levée du marteau varie de 0m,35 à 0m,40.

Dans la pratique, d'après M. Poncelet, le rapport de la masse fictive choquante m à la masse fictive choquée m' est rarement inférieure à 10 (116). Pour les martinets et marteaux à soulèvement employés à la fabrication du fer, ce rapport n'est pas inférieur à 12, et pour les marteaux frontaux, il est au moins 30.

118. *Marteau-pilon.* Depuis quelques années, dans plusieurs usines à fer, et surtout dans les grands ateliers de construction, on fait usage du *marteau-pilon* mû directement par la vapeur. Ces marteaux ont été établis dans des proportions très-diverses : ainsi, il y en a qui pèsent 100 kilogrammes seulement, et d'autres 4000 kilog.; ceux de 100 à 1000 kilog. donnent de 80 à 100 coups par minute, et ceux de 2000 à 4000 kilog. en donnent de 60 à 70.

On a établi des marteaux-pilons du poids de 3500 à 4000 kilog., dont les chutes atteignent 2 mètres à 2m,50.

Un avantage capital de ces marteaux, c'est qu'on peut faire varier leur chute et leur vitesse avec la plus grande facilité, selon les dimensions et l'état de dureté de la pièce que l'on forge.

Dimensions d'un marteau-pilon établi par M. Nillus, du Havre, d'après le système Nasmyth, pour les ateliers de la marine à Brest.

Poids	total des deux bâtis.	14000 kil.
id.	de la plaque de fondation.	8000
id.	du cylindre.	3500
id.	du marteau.	3500
id.	des accessoires en fer.	1200
id.	id. en fonte de cuivre.	400
	Total.	30600

L'enclume ayant été fabriquée à Brest, son poids n'est pas compris dans ce total.

Pression habituelle de la vapeur.	5 atmosphères.
Diamètre du cylindre.	$0^m.60$
Course du piston ou levée du marteau. . . .	$2^m.00$
Diamètre de la tige.	$0^m.40$

119. *Volants pour marteaux.* Le travail produit par la force P (117), pendant la durée totale d'un coup de marteau, étant absorbé pendant l'instant que met la came à soulever le marteau, il faut que le volant, ou l'attirail (roue et arbre à cames) qui le remplace le plus souvent, accumule, depuis l'instant où une came quitte le marteau jusqu'à l'instant où la came suivante le reprend, une quantité de force vive égale à l'excès du travail T produit par la force P pendant la durée totale d'un coup, sur le travail T' que produit cette force pendant le temps d'action de la came.

Le travail produit par P étant régulier, on aura T et T' quand on connaîtra les temps pendant lesquels ces quantités de travail sont produites. On connaît T, puisqu'on a le nombre des coups de marteau frappés dans un temps donné, et par suite la durée d'un coup. Comme la vitesse de rotation de la bague est à peu près régulière, à l'aide d'une épure représentant la position des cames sous le manche du marteau, on aura l'arc décrit par la bague pendant l'action de la came, et, par suite, la durée de cette action, ce qui permettra de déterminer T'. Cette épure servira aussi à trouver l'écartement à donner aux cames, écartement qui doit être tel, que, pendant l'instant d'inaction de deux cames successives, le marteau ait le temps de réagir sur le rabat et de redescendre sur l'enclume; sans quoi, le marteau *camerait*, c'est-à-dire retomberait sur la came qui arrive pour le soulever, avant d'avoir produit son effet sur le fer. D'après M. Faure, il résulterait de quelques observations faites par M. Walter de Saint-Ange sur des marteaux et martinets établis, que, pour les marteaux à soulèvement, le temps nécessaire à la réaction sous le rabat et à la descente varie de $1{,}04t$ à $1{,}15t$, et que, pour les martinets, il varie de $0{,}45t$ à $0{,}88t$, suivant que le nombre des coups frappés est respectivement plus grand ou plus petit.

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \qquad (19)$$

t durée de la descente libre du centre de gravité de l'ensemble du marteau et du manche;

h levée de ce centre de gravité; h correspond au point où la came quitte le manche du marteau, point auquel doit commencer l'action du rabat.

Les marteaux frontaux marchant lentement, ils ne s'élèvent pas au delà du point où les cames les quittent; de sorte que, sauf le retard causé à la descente par la réaction du fer sous le marteau et par les

frottements des tourillons de la hurasse, la durée d'inaction des cames peut être égale à $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$; mais, d'après les observations de M. Walter de Saint-Ange, dans la pratique, on fait varier cette durée, comme pour les marteaux à soulèvement, de $1,04$ à $1,15t$.

Q étant le poids du volant, V sa vitesse à l'instant où la came quitte le marteau, et V' sa vitesse au moment où la came suivante commence son action, on doit avoir (30)

$$\frac{Q}{2g}(V'^2-V^2)=\mathcal{T}-\mathcal{T}.$$

Comme on ne connaît pas les valeurs de V' et V, on établit entre elles et la valeur de la vitesse moyenne $v=\frac{2\pi rn}{60}$ (116) une relation dont il ne convient pas de s'écarter dans la pratique; ainsi on pose

$$V'-V=\frac{v}{K},$$

et comme on peut supposer que l'on a

$$V'+V=2v,$$

multipliant ces deux équations membre à membre, il vient

$$V'^2-V^2=\frac{2v^2}{K},$$

et par suite

$$\frac{Q}{2g}\times\frac{2v^2}{K}=\frac{Qv^2}{gK}=\mathcal{T}-\mathcal{T}.$$

K coefficient de régularité de vitesse, que, dans ce cas, l'on fait égal à 20, la grande régularité n'étant pas de rigueur (93).

C'est par des considérations analogues qu'on a établi les formules des nos 93 et 94, et que l'on déterminerait le poids d'un volant dans un cas quelconque; quand, toutefois, on connaît les durées des actions et de leurs intervalles, et que l'on peut apprécier le travail absorbé pour chaque action : ainsi, pour les laminoirs, par exemple, ces données ne pouvant être posées d'une manière analytique, on ne peut donner qu'une formule empirique pour calculer le poids de leurs volants (120).

M. Morin donne la formule suivante pour calculer le poids des volants pour marteaux :

$$P=\frac{K}{R^2}.$$

P Poids de la jante du volant en kilogrammes;

R rayon moyen de la jante du volant;

K coefficient. Pour les marteaux frontaux, K = 20 000 ou 30 000, selon que le poids des marteaux varie de 3000 à 3500 kilogrammes, ou de 4000 à 4900 kilogrammes. Pour les marteaux à l'allemande conduits par un engrenage, dont le poids total,

y compris le manche, la hurasse et les ferrures, varie ordinairement de 600 à 800 kilogrammes, et qui battent de 100 à 110 coups en une minute, le volant étant monté sur l'arbre à cames, K = 15000. Pour les martinets à engrenages, qui battent ordinairement de 150 à 200 coups à la minute, K = 6000 ou 9000, selon que le poids du martinet, y compris le manche et les ferrures, est 360 ou 500 kilogrammes.

120. *Le poids des volants de laminoirs pour les grandes tôles et pour l'étirage des fers en barres peut se calculer,* d'après M. Morin, *par la formule*

$$P = \frac{130000NK}{mv^2}.$$

P poids de la jante du volant en kilogrammes;
N force en chevaux transmise par le moteur à l'arbre du volant;
v vitesse moyenne de la jante du volant;
m nombre de tours des cylindres en 1';
K coefficient numérique qui est égal : 1° à 20 pour les machines de 80 à 100 chevaux faisant marcher à la fois 6 à 8 équipages de cylindres à tôle ou à fer en barres; 2° à 25 pour les machines de 60 chevaux faisant marcher 4 à 6 équipages pour l'étirage des fers; 3° à 80 pour les machines de 30 à 40 chevaux ne faisant marcher à la fois qu'un seul équipage de cylindres à grosses tôles, ou deux équipages de cylindres ébaucheurs et finisseurs pour les petits fers.

Les valeurs données pour K s'appliquent aux laminoirs conduits par des machines à vapeur, des roues à augets et des roues de côté; mais pour les roues à aubes courbes ou à aubes planes recevant l'eau en dessous, la vitesse étant très-grande, on diminue un peu les valeurs précédentes de K.

121. *Forces centripète et centrifuge* (*Int.*, 1509). Lorsqu'un mobile suit une circonférence ou seulement un arc de cercle, c'est qu'il est sollicité en chaque point de son mouvement par deux forces, l'une tangentielle à l'arc suivi, et l'autre dirigée vers le centre de cet arc.

La force tangentielle modifie seule la vitesse du mobile le long de l'arc suivi; si elle est nulle, le mouvement est uniforme, et il a été communiqué au mobile par une force qui a cessé d'agir. La direction de la seconde force lui a fait donner le nom de *force centripète;* on l'appelle aussi *force infléchissante*, parce qu'à chaque instant elle infléchit la direction du mouvement, de manière à rendre ce mouvement circulaire, de rectiligne qu'il eût été sans son action.

Supposant, comme cela a souvent lieu dans la pratique, que la force centripète agit sur le mobile par l'intermédiaire d'un fil dont une extrémité est retenue au centre de la circonférence décrite, en vertu du principe de la réaction égale et contraire à l'action, le mobile exerce sur le point fixe une réaction égale et directement opposée à la force centripète, et que l'on nomme *force centrifuge.*

En supprimant la force centripète, ce qui peut se faire en coupant le fil ou en le rendant libre, la force centrifuge est supprimée

aussi, et le mobile n'étant plus soumis qu'à la vitesse initiale, et à la force tangentielle, si elle n'est pas nulle, il s'éloigne en suivant la tangente à la circonférence. Cet effet est mis parfaitement en évidence par la fronde.

Les forces centripète et centrifuge ont pour expression commune, abstraction faite du signe,

$$C = \frac{mv^2}{r} = \frac{Pv^2}{gr}.$$

C forces centripète et centrifuge;
m masse du corps en mouvement;
v vitesse du centre de gravité du corps;
r rayon de la circonférence décrite par le centre de gravité du corps;
$P = mg$ poids du mobile (23).

122. *Pendule simple* (*Int.*, 1519). La durée d'une oscillation du pendule simple est, lorsque l'amplitude est très-petite,

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad (a)$$

T durée de l'oscillation, c'est-à-dire du parcours simple de l'arc entier décrit;
l longueur du pendule;
g accélération de vitesse due à la pesanteur (18) dans le lieu où oscille le pendule.

Cette expression de la durée d'une très-petite oscillation du pendule simple fait voir que, pour un même pendule ou pour des pendules de même longueur, les oscillations sont *isochrones*, c'est-à-dire de même durée, partout où la valeur de g est la même.

Pour un pendule d'une longueur l', oscillant dans un lieu où $g = g'$, on aurait

$$T' = \pi\sqrt{\frac{l'}{g'}};$$

donc

$$T : T' = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l'}{g'}}.$$

Lorsque $g = g'$, cette proportion devient

$$T : T' = \sqrt{l} : \sqrt{l'};$$

et pour $l = l'$,

$$T : T' = \sqrt{\frac{1}{g}} : \sqrt{\frac{1}{g'}} = \sqrt{g'} : \sqrt{g},$$

proportions faciles à traduire verbalement.

Application. Quelle est la longueur du pendule simple qui bat les secondes à Paris?

De la formule $T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ on tire $l = \frac{gT^2}{\pi^2}$.

Remplaçant π, g et T par leurs valeurs, on a

$$l = \frac{9{,}8088 \times 1 \times 1}{3{,}14159 \times 3{,}14159} = 0^{m},99384.$$

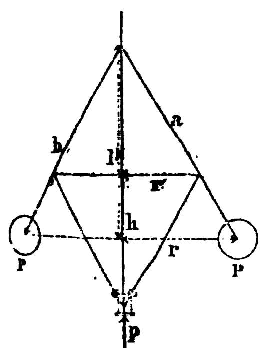
On trouverait de même la longueur du pendule dont la très-petite oscillation doit avoir une durée quelconque (*Int.*, 1522).

Déterminan par une expérience la durée T de l'oscillation d'un pendule de longueur l', la formule (a) donne pour la valeur de g dans le lieu où l'on opère,

$$g = \frac{\pi^2 l'}{T^2}.$$

123. *Pendule conique* (fig. 17) (*Int.* 1517). La durée d'une oscillation du pendule conique, c'est-à-dire le temps que met la boule à faire une révolution autour de l'axe, est

Fig. 17.



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

T durée de l'oscillation; la formule fait voir qu'elle est double de celle du pendule simple de même longueur (122);

l longueur du pendule conique; ce n'est pas la longueur de la tige du pendule, mais seulement la projection de cette tige sur la verticale; nous l'appellerons hauteur du pendule.

L'isochronisme des oscillations a lieu dans les mêmes circonstances que pour le pendule simple, et les proportions posées n° 122 se reproduisent également pour le pendule conique.

Ce qui vient d'être dit s'applique au cas où le pendule a plusieurs boules, comme à celui où il n'en a qu'une.

Suivant que T augmente ou diminue, la hauteur l augmente ou diminue, et on conçoit que l'on peut utiliser l'oscillation qu'en subit le manchon inférieur, pour faire mouvoir l'organe qui introduit la vapeur dans le cylindre d'une machine à vapeur, ou l'eau sur une roue hydraulique, et, par suite, régler l'arrivée de ces matières motrices de manière à obtenir une vitesse que l'on peut considérer comme constante dans la pratique.

Le poids de chacune des boules d'un pendule conique est donné par la formule :

$$P = \frac{pa(bh + al)(n-1)^2}{(2n-1)2b^2h}.$$

P poids d'une boule;
p force qu'il faut appliquer au manchon inférieur, au repos et avant que les boules soient en place, pour le soulever ainsi que les tiges quand il est dans la position qui correspond à la vitesse de régime, pour laquelle on a $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.
On détermine p au moyen d'une balance, ou d'un fil très-flexible passant sur une petite poulie très-mobile; p comprend aussi l'effort à produire sur le manchon pour manœuvrer la soupape régulatrice;
a distance du point d'oscillation supérieur au point où les tiges supérieures s'articulent avec les tiges inférieures, mesurée sur les tiges mêmes;
b longueur totale de chacune des tiges supérieures; ordinairement $\frac{a}{b} = \frac{2}{3}$ environ;
h projection de chacune des tiges inférieures sur la verticale;
l hauteur du pendule ou projection de b sur la verticale;
n coefficient de latitude de durée d'oscillation, avant que le pendule modère la vitesse de la machine.

La durée d'oscillation correspondant à la vitesse de régime de la machine étant

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \quad \text{d'où} \quad l = \frac{gT^2}{4\pi^2},$$

la formule précédente donne le poids de chaque boule pour que le pendule agisse sur la soupape régulatrice dès que la durée d'oscillation est

$$T' = T\,\frac{n-1}{n},$$

ce qui donne

$$l' = \frac{gT^2\,\frac{(n-1)^2}{n^2}}{4\pi^2}.$$

La valeur de n dépend de la nature du travail à produire; elle est ordinairement comprise entre 10 et 20.

A l'aide d'une épure, on détermine la quantité dont s'élève le manchon pour la différence $l - l'$ des hauteurs du pendule.

On obtient la vitesse correspondant à T au moyen d'une poulie fixée au pendule, à laquelle on transmet le mouvement à l'aide d'une corde ou d'une courroie sans fin qui communique avec l'arbre de la machine.

Quand les tiges du pendule forment entre elles un parallélogramme, disposition qu'il convient d'adopter quand rien ne s'y oppose, on a $bh = al$, et la formule qui donne le poids d'une boule devient

$$P = \frac{pa(n-1)^2}{b(2n-1)}.$$

Pour $p=2$ kil., $\frac{a}{b}=\frac{2}{3}$ et $n=20$, cette dernière formule donne $P=12^k,27$.

Dans l'établissement de ces formules qui donnent la valeur de P, on a négligé l'effet de la force centrifuge sur les tiges; les résultats obtenus sont donc un peu faibles.

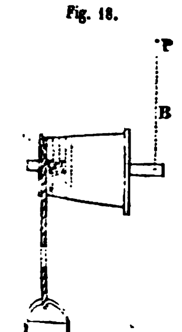
Dans la pratique, on peut faire les boules creuses, et y introduire peu à peu de la grenaille de plomb que l'on fait fondre quand le poids de la boule est tel, que la soupape régulatrice fonctionne dès qu'on a

$$T'=T\frac{n-1}{n}.$$

Ordinairement, le poids des boules est compris entre 10 et 35 kilog. Suivant qu'une machine est de 6, 10, 15 ou 25 chevaux, le diamètre des boules est de $0^m,115$, $0^m,135$, $0^m,15$ et $0^m,16$ environ. Il n'y a en général pas d'inconvénient à faire les boules un peu fortes.

124. *Treuil régulateur.* Le rayon à donner au treuil (fig. 18), au point correspondant à la position d'une spire quelconque de la corde qui s'enroule, pour que l'effort à produire pour manœuvrer le treuil reste constant, malgré la plus ou moins grande longueur de corde déroulée, est donnée par la formule

Fig. 18.



$$r+e=\frac{PB}{Q+pl}.$$

r rayon cherché;
e rayon de la corde;
P force motrice;
B bras de levier de la force motrice;
Q poids élevé;
p poids du mètre de longueur de corde;
l longueur de corde déroulée.

La corde venant toujours se placer à côté d'elle-même à mesure qu'elle s'enroule, dès qu'on a son diamètre, on connaît à très-peu près les positions des différentes spires suivant la longueur de l'axe du treuil, en portant successivement le diamètre de la corde sur cet axe.

La longueur de corde déroulée après un nombre quelconque n de révolutions du treuil est

$$l_n=L-2\pi[ne+(r_1+r_2+r_3+\ldots\ldots+r_n)].$$

l_n longueur de corde déroulée;
L longueur totale de la corde;
n nombre des spires qui se trouvent sur le treuil;
$r_1, r_2, r_3,\ldots r_n$ rayons du treuil correspondant à la 1re, 2e, 3e... n^e spire.

Comme, théoriquement, le treuil régulateur différerait très-peu d'un tronc de cône, dans la pratique on se contente de cette forme, dont le petit et le grand rayon se tirent des formules :

$$r+e=\frac{PB}{Q+pL}, \quad R+e=\frac{PB}{Q}.$$

r petit rayon du treuil;
R grand rayon du treuil.

Pour l'exploitation des mines, on fait usage du treuil régulateur, et, afin de ne pas perdre de temps pendant sa manœuvre, on emploie deux cordes, dont une s'enroule et monte la charge pendant que l'autre se déroule et descend à vide. Cette dispositiou exige l'emploi de deux treuils semblables à celui (fig. 18), montés sur le même axe, accolés par leurs grandes bases, et dont les rayons sont calculés d'après les considérations suivantes :

1° Quand un fardeau est en bas, sa corde est complétement déroulée, tandis que l'autre est complétement enroulée et non chargée ; on a donc

$$PB=(Q+pL)(r+e), \quad \text{d'où} \quad r+e=\frac{PB}{Q+pL}.$$

2° Pour le fardeau qui arrive en haut, la corde est complétement enroulée, tandis que l'autre est entièrement déroulée ; on a donc

$$PB=Q(R+e)-pL(r+e);$$

d'où l'on tire, en remplaçant $r+e$ par sa valeur (1°),

$$R+e=\frac{PB}{Q}+\frac{pLPB}{Q(Q+pL)}=\frac{PB}{Q}\left(1+\frac{pL}{Q+pL}\right).$$

r petit rayon de chaque treuil;
R grand rayon de chaque treuil.

On fait encore usage d'un autre genre de treuil appelé *bobine*, dans lequel la corde, qui est plate, ou la courroie s'enroule sur elle-même, de manière qu'après chaque tour son épaisseur s'ajoute au rayon de la bobine, c'est-à-dire au bras de levier de la résistance. Comme il est impossible de bien régulariser cette machine, nous nous contenterons de la citer.

128. *Sonnette à tiraudes.* Le tableau du n° 37 fait voir que l'effet maximum fourni par l'homme employé dans les circonstances de cette machine correspond à un effort de 18k, à une vitesse moyenne de 0m,20 par seconde, et à une durée de travail journalière de 6 heures. Dans les chantiers de construction, la durée du travail est de 9 à 10 heures par jour ; mais comme le 1/3 à peu près de ce

temps est employé à disposer les appareils, on peut considérer 6 heures comme étant la durée du travail effectif journalier.

La manœuvre de la sonnette à tiraudes étant très-fatigante, on ne bat de suite que 20 à 25 coups de mouton ; comme il faut 1′20″ pour cela, qu'ensuite on se repose pendant le même temps, et que le temps perdu est de 20″ environ, chaque volée exige 3 minutes.

A la construction du pont d'Iéna, on travaillait 10 heures par jour, la levée du mouton était de 1m,45, on donnait moyennement 12 volées de chacune 30 coups à l'heure, le mouton pesait 587k, et il était manœuvré par 38 hommes. De ces données, il résulte que l'effort produit par chaque homme était seulement de 15k,45, avec une vitesse moyenne de 0m,145 par seconde ; mais cela, en négligeant les frottements de l'axe de la poulie, la roideur de la corde et l'effet de l'obliquité des divers cordons tirés par un aussi grand nombre d'hommes ; de plus, la levée 1m,45 étant un peu forte, l'effet produit par les hommes devait être diminué ; il convient que la levée du mouton soit comprise entre 1m,30 et 1m,40.

Un mouton à enfoncer les pilotis doit peser au moins 300k, et sa levée ne doit pas être inférieure à 1m,10 ou 1m,30 ; il est manœuvré par 18 à 20 hommes. Les moutons du poids de 600k sont manœuvrés par 35 à 40 hommes.

126. *Sonnette à déclic.* Pour la sonnette à déclic, la puissance est donnée par la formule

$$P = (Q + q + q')\frac{r'''r'}{r''r}.$$

- P puissance agissant sur la manivelle ;
- r rayon de la manivelle ;
- r' rayon du pignon monté sur l'arbre de la manivelle ;
- r'' rayon de la roue d'engrenage montée sur l'arbre du treuil, et avec laquelle s'engrène le pignon de rayon r' ;
- r''' rayon du treuil ;
- Q poids du mouton ;
- q résistance due à la roideur de la corde sur la poulie (66) ;
- q' résistance due à la roideur de la corde sur le treuil.

On a dans cette formule négligé le frottement des axes et des engrenages, dont on tiendrait facilement compte (64 et 82).

Ce genre de sonnette est surtout avantageux quand il s'agit de manœuvrer de lourds moutons, ceux de 400 à 600 kilog. Toutes choses égales d'ailleurs, le prix de revient du battage des pieux n'est que les 0,65 à 0,70 de celui du battage avec la sonnette à tiraudes.

127. *Battage des pieux.* L'expérience prouve que l'enfoncement des pieux est proportionnel au produit de la masse du mouton, plus la masse du pieu, par le carré de la vitesse commune de ces deux masses après le choc, c'est-à-dire à

$$(m+m')u^2=(m+m')\frac{m^2v^2}{(m+m')^2}=\frac{m^2v^2}{m+m'}. \qquad (98)$$

Ayant $v^2=2gh$ (19), l'enfoncement est donc proportionnel à

$$\frac{2gm^2h}{m+m'}=\frac{2gmh}{1+\frac{m'}{m}}$$

u vitesse commune au mouton et au pieu après le choc;
v vitesse du mouton avant le choc;
m masse du mouton;
m' masse du pieu;
h levée du mouton.

L'expression $\frac{2gm^2h}{m+m'}$ fait voir que, pour une même masse de mouton, l'enfoncement d'un même pieu est proportionnel à la levée du mouton, et l'expression $\frac{2gmh}{1+\frac{m'}{m}}$, montre que, pour un même produit mh, l'effet est d'autant plus grand que la masse m est plus grande, et que par conséquent, pour l'économie du travail, qui est représenté par mh, il faudra prendre de gros moutons, qu'on élèvera à une hauteur modérée de 2^m,50 à 3 ou 4 mètres. Pour les derniers coups frappés sur un pieu, on peut porter la hauteur h à 5 ou 6 mètres.

On considère un pieu comme battu au refus absolu quand il ne s'enfonce plus que de 0^m,004 à 0^m,005 par volée de 30 coups, ou par coup d'un mouton de sonnette à déclic tombant d'une hauteur de 4 à 5 mètres. Au pont de Neuilly, où les pieux avaient à supporter jusqu'à 52000 kilog. pour un diamètre de 0^m,325, on cessait le battage quand l'enfoncement n'était plus que de 0^m,0045 par volée de 25 coups d'un mouton tombant de 1^m,40.

Lorsque le poids à supporter par les pieux n'est pas considérable, on n'a pas besoin d'arriver à un refus aussi absolu; on peut, quand un pieu ne porte que 7 à 8000 kilog., arrêter le battage quand l'enfoncement n'est plus que de 0^m,03 à 0^m,04 ou 0^m,05 par volée, si toutefois on est sûr que les pieux ont pénétré dans un sol résistant.

128. *Manége.* En supposant que dans un manége une résistance agisse tangentiellement à un tambour horizontal, comme cela a lieu généralement, et que sur l'arbre de ce tambour soit monté un pignon conique qui engrène avec une roue conique montée sur l'arbre vertical du manége, le travail dépensé par la puissance appliquée à l'extrémité des flèches est égal au travail absorbé par la résistance tangentielle au tambour, par le frottement des tourillons de ce tambour, par celui des engrenages et par celui des tourillons de l'arbre vertical, et, pour une révolution du manége, l'équilibre dynamique donne

$$P \times 2\pi R = Q'f \times 2\pi r + Q''f \times \frac{2}{3}\pi r +$$
$$\frac{R'}{R''}\left[Qf \times 2\pi r' + F \times 2\pi R''' + (Qf \times 2\pi r' + F \times 2\pi R''')f'\pi\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n'}\right)\right].$$

P puissance agissant à l'extrémité des flèches ;
R bras de levier de la puissance, ou longueur des flèches ;
Q' somme moyenne des pressions sur les tourillons de l'arbre vertical ; on calculera la pression sur chaque tourillon en opérant comme pour le treuil (80) ; mais comme cette pression varie pour chaque position de la puissance, on prendra une moyenne entre sa plus grande et sa plus petite valeur ;
r rayon des tourillons de l'arbre vertical ;
f coefficient de frottement, que l'on suppose commun à tous les tourillons ainsi qu'à la face horizontale du pivot inférieur de l'arbre vertical ;
Q'' pression de la face horizontale du pivot inférieur de l'arbre vertical sur la crapaudine ;
R' rayon de la roue conique montée sur l'arbre du manége ;
R'' rayon du pignon conique monté sur l'axe du tambour ;
R''' rayon du tambour plus celui de la corde ;
Q somme des pressions des deux tourillons de l'arbre du tambour sur leurs coussinets (80) ;
r' rayon des tourillons de l'arbre du tambour ;
F résistance agissant tangentiellement au tambour ; elle se compose du poids élevé, du poids de la corde et de la roideur de cette corde ;
f' coefficient de frottement des engrenages ;
n nombre de dents du pignon ;
n' nombre de dents de la roue ;
$P \times 2\pi R$ travail dépensé par la puissance ;
$Q'f \times 2\pi r$ travail absorbé par le frottement latéral des pivots de l'arbre du manége ;
$Q''f \times \frac{2}{3}\pi r$ travail absorbé par le frottement de la face horizontale du pivot inférieur de l'arbre du manége ;
$\frac{R'}{R''} Qf \times 2\pi r'$ travail absorbé par le frottement des tourillons de l'arbre du tambour ;
$\frac{R'}{R''} F \times 2\pi R'''$ travail absorbé par la résistance F agissant tangentiellement au tambour ;
$\frac{R'}{R''}(Qf \times 2\pi r' + F \times 2\pi R''')f'\pi\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n'}\right)$ travail absorbé par le frottement des engrenages (82 et 83).

En négligeant tous les frottements, ainsi que le poids et la roideur de la corde, l'équilibre dynamique donnerait, pour une révolution du manége,

$$P \times 2\pi R = \frac{R'}{R''} F' \times 2\pi R''', \quad \text{d'où} \quad P = F' \frac{R'R'''}{RR''}.$$

F' poids élevé par la corde qui s'enroule sur le tambour.

Le rayon d'un manége ne doit pas être inférieur à $2^m,50$, et il convient de lui donner de 3 à 4 mètres.

129. *Chevaux de manége, soins à leur donner.* Les chevaux courts et trapus conviennent pour le manége. Leur taille, mesurée sur le garrot, peut varier de 1^m,45 à 1^m,55.

Un cheval moyen peut produire une traction de 360 kilog. quand il ne prend aucune vitesse; mais quand il marche, la traction qu'il peut produire n'est que le 1/4 environ de cette quantité; on compte sur 80 à 90 kilog. au maximum pour une vitesse moyenne de 1 mèt. par seconde, et pour un temps qui n'est pas trop prolongé. Le plus souvent, les chevaux employés au manége étant fatigués et presque usés, ils ne produisent qu'une traction de 40 à 50 kilog. avec une vitesse de 0^m,90 à 1^m,00 par seconde (36 à 39).

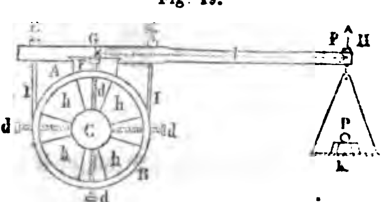
Le travail ne doit pas avoir une durée de plus de 3 heures, et il doit être suivi d'un repos d'une durée au moins égale. Dans un travail continu, le repos doit être de 4 heures pour 2 heures de travail, ce qui fait 8 heures de travail effectif par jour.

Les heures de repos et de pansage des chevaux doivent être régulières. Leur nourriture doit être peu échauffante; aussi ne leur donne-t-on que peu d'avoine. Ils mangent ordinairement, en 24 heures, 10 kilog. de foin et 4 à 5 kilog. de son; mais il serait plus convenable de leur donner 5 kilog. de foin, 5 kilog. de paille et 8 litres d'avoine. Le foin doit être vert, d'une odeur agréable, légèrement aromatique et d'une saveur douce et sucrée, fin, sec et assez flexible; on doit préférer le foin de plaine ou de terrains légèrement inclinés à celui de marais, qui est malsain; il doit, autant que possible, être consommé de 2 mois à 2 ans après la récolte. La paille de froment non barbu est la meilleure comme nourriture; elle doit être nouvelle et de couleur jaune doré. L'avoine doit être pesante, lisse, sans mauvaise odeur, bien nettoyée; sa couleur est indifférente; elle doit peser au moins 42 kilog. l'hectolitre si elle est nouvelle, et 40 kilog. si elle est déjà vieille; elle ne doit être donnée aux chevaux qu'après 4 à 5 mois de récolte.

L'eau doit être donnée aux chevaux à la température de l'atmosphère; celle de pluie ou de rivière est la meilleure; on doit rejeter celle qui est croupie et celle qui ne dissout pas le savon.

130. *Frein dynamométrique* (*fig.* 19). Cet appareil sert à déterminer la puissance d'une machine, ou le travail absorbé par les différents appareils que commande l'arbre moteur de cette machine, en le remplaçant par le travail, facile à évaluer, absorbé par un simple frottement produit sur cet arbre.

Fig. 19.



AB bague en fonte, que l'on centre sur l'arbre moteur C au moyen des vis d, d...;
h, h,... cales fixant la bague AB sur l'arbre C;
E, E écrous servant à serrer la bague AB entre le coussinet F fixé au levier GH, et le lien en fer H;
K plateau de balance fixé à l'extrémité du levier GH.

Supposons qu'après avoir assujetti le levier GH dans une position horizontale, on serre la bague AB entre le coussinet F et le lien H; la vitesse de rotation de l'arbre C ira en diminuant à mesure que le serrage augmentera, et finira par atteindre la vitesse de régime; alors, le travail absorbé par le frottement de la bague AB sera égal au travail absorbé par les différents appareils que commandait l'arbre C. Si maintenant on rend libre le levier GH, il sera entraîné par le frottement de la bague AB, et tournera avec l'arbre C; mais si l'on place dans le plateau K un poids P, tel que le levier GH ne soit plus entraîné et ne fasse qu'osciller légèrement de dessus en dessous de la position horizontale, le travail absorbé par le frottement de la bague AB sera encore égal au travail absorbé par la force P + p agissant à l'extrémité du levier l, et l'on aura, pour une révolution de l'arbre C,

$$\mathcal{T}_u = F \times 2\pi r = (P + p)\, 2\pi l.$$

$\mathcal{T}_u$ travail transmis par l'arbre moteur C, ou travail absorbé par les différents appareils que commande cet arbre;
F frottement de la bague AB contre le coussinet F et le lien H;
P poids placé dans le plateau K;
p force verticale qu'il faut appliquer au point H pour maintenir le levier GH dans une position horizontale quand il repose en G sur un couteau ordinaire de balancier; on détermine p au moyen d'une balance ou d'un fil flexible passant sur une poulie très-mobile.

Tout est connu dans l'expression $(P + p)\, 2\pi l$, on connaît donc $\mathcal{T}_u$.

Application. Soit $p = 30$ kil., $P = 100$ kil. et $l = 2^m,50$; il s'agit de déterminer le travail transmis par l'arbre moteur en chevaux-vapeur, sachant que cet arbre fait 40 révolutions par minute.

On a, pour une révolution, en remplaçant les lettres par leurs valeurs,

$$\mathcal{T}_u = (100 + 30) \times 2 \times 3{,}14 \times 2{,}50 = 2041 \text{ kilogrammètres},$$

et pour une seconde,

$$\mathcal{T}_u = 2041 \frac{40}{60} = 1360^{km},66.$$

La force de la machine est donc de

$$\frac{1360{,}66}{75} = 18{,}14 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Quand on n'a pas de bague à sa disposition, et que l'arbre moteur est cylindrique, on peut produire le frottement directement sur l'arbre si

134. *TABLE des vitesses théoriques* v *correspondantes à différentes hauteurs de chute.*

HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
0.001	0.140	0.42	2.870	0.92	4.248	1.42	5.278	1.92	6.138
0.002	0.198	0.43	2.904	0.93	4.271	1.43	5.297	1.93	6.154
0.003	0.243	0.44	2.938	0.94	4.294	1.44	5.315	1.94	6.170
0.004	0.280	0.45	2.971	0.95	4.317	1.45	5.333	1.95	6.186
0.005	0.313	0.46	3.004	0.96	4.340	1.46	5.351	1.96	6.202
0.006	0.343	0.47	3.037	0.97	4.362	1.47	5.370	1.97	6.217
0.007	0.370	0.48	3.069	0.98	4.384	1.48	5.388	1.98	6.232
0.008	0.395	0.49	3.100	0.99	4.407	1.49	5.406	1.99	6.248
0.009	0.420	0.50	3.132	1.00	4.429	1.50	5.425	2.00	6.264
0.01	0.443	0.51	3.163	1.01	4.451	1.51	5.443	2.01	6.279
0.02	0.626	0.52	3.194	1.02	4.473	1.52	5.461	2.02	6.295
0.03	0.767	0.53	3.224	1.03	4.495	1.53	5.479	2.03	6.311
0.04	0.886	0.54	3.253	1.04	4.547	1.54	5.496	2.04	6.326
0.05	0.990	0.55	3.285	1.05	4.539	1.55	5.514	2.05	6.341
0.06	1.085	0.56	3.314	1.06	4.560	1.56	5.532	2.06	6.357
0.07	1.172	0.57	3.344	1.07	4.582	1.57	5.550	2.07	6.372
0.08	1.253	0.58	3.373	1.08	4.603	1.58	5.567	2.08	6.388
0.09	1.329	0.59	3.402	1.09	4.624	1.59	5.585	2.09	6.403
0.10	1.401	0.60	3.431	1.10	4.645	1.60	5.603	2.10	6.418
0.11	1.468	0.61	3.459	1.11	4.666	1.61	5.620	2.11	6.434
0.12	1.534	0.62	3.488	1.12	4.687	1.62	5.637	2.12	6.449
0.13	1.597	0.63	3.516	1.13	4.708	1.63	5.655	2.13	6.464
0.14	1.657	0.64	3.543	1.14	4.729	1.64	5.672	2.14	6.479
0.15	1.715	0.65	3.571	1.15	4.730	1.65	5.690	2.15	6.494
0.16	1.772	0.66	3.598	1.16	4.770	1.66	5.707	2.16	6.510
0.17	1.826	0.67	3.625	1.17	4.790	1.67	5.724	2.17	6.525
0.18	1.879	0.68	3.652	1.18	4.811	1.68	5.741	2.18	6.540
0.19	1.931	0.69	3.679	1.19	4.831	1.69	5.758	2.19	6.555
0.20	1.981	0.70	3.706	1.20	4.852	1.70	5.775	2.20	6.570
0.21	2.030	0.71	3.732	1.21	4.872	1.71	5.792	2.21	6.584
0.22	2.078	0.72	3.758	1.22	4.892	1.72	5.809	2.22	6.599
0.23	2.124	0.73	3.784	1.23	4.913	1.73	5.826	2.23	6.614
0.24	2.170	0.74	3.810	1.24	4.933	1.74	5.842	2.24	6.629
0.25	2.215	0.75	3.836	1.25	4.953	1.75	5.859	2.25	6.644
0.26	2.259	0.76	3.861	1.26	4.972	1.76	5.876	2.26	6.658
0.27	2.301	0.77	3.886	1.27	4.991	1.77	5.893	2.27	6.673
0.28	2.344	0.78	3.911	1.28	5.011	1.78	5.909	2.28	6.688
0.29	2.385	0.79	3.936	1.29	5.031	1.79	5.926	2.29	6.703
0.30	2.426	0.80	3.961	1.30	5.050	1.80	5.942	2.30	6.717
0.31	2.466	0.81	3.986	1.31	5.069	1.81	5.959	2.31	6.732
0.32	2.506	0.82	4.011	1.32	5.089	1.82	5.975	2.32	6.746
0.33	2.544	0.83	4.035	1.33	5.108	1.83	5.992	2.33	6.761
0.34	2.582	0.84	4.059	1.34	5.127	1.84	6.008	2.34	6.775
0.35	2.620	0.85	4.083	1.35	5.146	1.85	6.024	2.35	6.790
0.36	2.658	0.86	4.107	1.36	5.165	1.86	6.041	2.36	6.804
0.37	2.694	0.87	4.131	1.37	5.184	1.87	6.057	2.37	6.849
0.38	2.730	0.88	4.155	1.38	5.203	1.88	6.073	2.38	6.833
0.39	2.766	0.89	4.178	1.39	5.222	1.89	6.089	2.39	6.847
0.40	2.801	0.90	4.202	1.40	5.241	1.90	6.105	2.40	6.862
0.41	2.836	0.91	4.225	1.41	5.259	1.91	6.122	2.41	6.876

une autre, il en résulte que les volumes écoulés sont variables pour chaque tranche.

132. *Hypothèse du parallélisme des tranches.* Afin de pouvoir analyser les phénomènes de l'écoulement des fluides, on a été obligé de supposer le parallélisme des tranches, c'est-à-dire d'admettre que tout volume fluide est composé de tranches très-minces, normales à la direction du mouvement du fluide, se mouvant en restant constamment parallèles à elle-mêmes, conservant toujours le même volume, et ne faisant que s'élargir ou se rétrécir suivant que le vase dans lequel elles se meuvent s'élargit ou se rétrécit. La vitesse du fluide est supposée être la même en tous les points de chaque section.

On conçoit que ces hypothèses ne sont à peu près réalisées que dans le cas où le fluide se meut dans des vases, des canaux ou des tuyaux de conduite dont la forme continue et régulière ne varie que par degrés insensibles.

133. Supposant que les parois du vase sont continues et tellement raccordées avec l'orifice d'écoulement, que l'on puisse, si cela était entièrement possible, considérer le parallélisme des tranches comme réalisé, on prouve théoriquement (*Int.*, 1579), que le niveau restant constant dans le vase, d'où naît la permanence du mouvement, on a

$$v = \sqrt{2gh}, \quad \text{d'où} \quad h = \frac{v^2}{2g}.$$

v vitesse d'écoulement;
h *hauteur génératrice* ou *hauteur de chute*; c'est la hauteur du niveau du liquide dans le vase au-dessus du centre de gravité de l'orifice.

Écoulement en mince paroi. Lorsque l'écoulement a lieu en mince paroi, c'est-à-dire quand l'épaisseur de la paroi dans laquelle est pratiqué l'orifice d'écoulement est moindre que la plus petite dimension de l'orifice, et au maximum de 0^m,05 à 0^m,06, la vitesse avec laquelle l'eau s'écoule est, comme dans le cas précédent, très-sensiblement donnée par la formule de Toricelli,

$$v = \sqrt{2gh}.$$

v peut être appelé *vitesse théorique*; la *vitesse réelle* est moindre, mais seulement de 0,01 à 0,02 de v. Cette diminution de vitesse est due au frottement de l'eau contre les parois de l'orifice et à la résistance de l'air.

La formule fait voir que dans les cas précédents d'écoulement de l'eau, la vitesse théorique est celle qu'acquerrait un grave en tombant dans le vide de la hauteur h (19).

134. *TABLE des vitesses théoriques v correspondantes à différentes hauteurs de chute.*

HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
0.001	0.140	0.42	2.870	0.92	4.248	1.42	5.278	1.92	6.138
0.002	0.198	0.43	2.904	0.93	4.271	1.43	5.297	1.93	6.154
0.003	0.243	0.44	2.938	0.94	4.294	1.44	5.315	1.94	6.170
0.004	0.280	0.45	2.971	0.95	4.317	1.45	5.333	1.95	6.186
0.005	0.313	0.46	3.004	0.96	4.340	1.46	5.351	1.96	6.202
0.006	0.343	0.47	3.037	0.97	4.362	1.47	5.370	1.97	6.217
0.007	0.370	0.48	3.069	0.98	4.384	1.48	5.388	1.98	6.232
0.008	0.395	0.49	3.100	0.99	4.407	1.49	5.406	1.99	6.248
0.009	0.420	0.50	3.132	1.00	4.429	1.50	5.425	2.00	6.264
0.01	0.443	0.51	3.163	1.01	4.451	1.51	5.443	2.01	6.279
0.02	0.626	0.52	3.194	1.02	4.473	1.52	5.461	2.02	6.295
0.03	0.767	0.53	3.224	1.03	4.495	1.53	5.479	2.03	6.311
0.04	0.886	0.54	3.253	1.04	4.517	1.54	5.496	2.04	6.326
0.05	0.990	0.55	3.285	1.05	4.539	1.55	5.514	2.05	6.341
0.06	1.085	0.56	3.314	1.06	4.560	1.56	5.532	2.06	6.357
0.07	1.172	0.57	3.344	1.07	4.582	1.57	5.550	2.07	6.372
0.08	1.253	0.58	3.373	1.08	4.603	1.58	5.567	2.08	6.388
0.09	1.329	0.59	3.402	1.09	4.624	1.59	5.585	2.09	6.403
0.10	1.401	0.60	3.431	1.10	4.645	1.60	5.603	2.10	6.418
0.11	1.468	0.61	3.459	1.11	4.666	1.61	5.620	2.11	6.434
0.12	1.534	0.62	3.488	1.12	4.687	1.62	5.637	2.12	6.449
0.13	1.597	0.63	3.516	1.13	4.708	1.63	5.655	2.13	6.464
0.14	1.657	0.64	3.543	1.14	4.729	1.64	5.672	2.14	6.479
0.15	1.715	0.65	3.571	1.15	4.750	1.65	5.690	2.15	6.494
0.16	1.772	0.66	3.598	1.16	4.770	1.66	5.707	2.16	6.510
0.17	1.826	0.67	3.625	1.17	4.790	1.67	5.724	2.17	6.525
0.18	1.879	0.68	3.652	1.18	4.811	1.68	5.741	2.18	6.540
0.19	1.931	0.69	3.679	1.19	4.831	1.69	5.758	2.19	6.555
0.20	1.981	0.70	3.706	1.20	4.852	1.70	5.775	2.20	6.570
0.21	2.030	0.71	3.732	1.21	4.872	1.71	5.792	2.21	6.584
0.22	2.078	0.72	3.758	1.22	4.892	1.72	5.809	2.22	6.599
0.23	2.124	0.73	3.784	1.23	4.913	1.73	5.826	2.23	6.614
0.24	2.170	0.74	3.810	1.24	4.933	1.74	5.842	2.24	6.629
0.25	2.215	0.75	3.836	1.25	4.953	1.75	5.859	2.25	6.644
0.26	2.259	0.76	3.861	1.26	4.972	1.76	5.876	2.26	6.658
0.27	2.301	0.77	3.886	1.27	4.991	1.77	5.893	2.27	6.673
0.28	2.344	0.78	3.911	1.28	5.011	1.78	5.909	2.28	6.688
0.29	2.385	0.79	3.936	1.29	5.031	1.79	5.926	2.29	6.703
0.30	2.426	0.80	3.961	1.30	5.050	1.80	5.942	2.30	6.717
0.31	2.466	0.81	3.986	1.31	5.069	1.81	5.959	2.31	6.732
0.32	2.506	0.82	4.011	1.32	5.089	1.82	5.975	2.32	6.746
0.33	2.544	0.83	4.035	1.33	5.108	1.83	5.992	2.33	6.761
0.34	2.582	0.84	4.059	1.34	5.127	1.84	6.008	2.34	6.775
0.35	2.620	0.85	4.083	1.35	5.146	1.85	6.024	2.35	6.790
0.36	2.658	0.86	4.107	1.36	5.165	1.86	6.041	2.36	6.804
0.37	2.694	0.87	4.131	1.37	5.184	1.87	6.057	2.37	6.819
0.38	2.730	0.88	4.155	1.38	5.203	1.88	6.073	2.38	6.833
0.39	2.766	0.89	4.178	1.39	5.222	1.89	6.089	2.39	6.847
0.40	2.801	0.90	4.202	1.40	5.241	1.90	6.105	2.40	6.862
0.41	2.836	0.91	4.225	1.41	5.259	1.91	6.122	2.41	6.876

HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.	HAUTEURS de chute.	VITESSES correspondantes.
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
2.42	6.890	2.94	7.594	3.46	8.239	3.98	8.836	4.50	9.396
2.43	6.904	2.95	7.607	3.47	8.251	3.99	8.847	4.51	9.406
2.44	6.919	2.96	7.620	3.48	8.263	4.00	8.858	4.52	9.417
2.45	6.933	2.97	7.633	3.49	8.274	4.01	8.869	4.53	9.427
2.46	6.947	2.98	7.646	3.50	8.286	4.02	8.880	4.54	9.437
2.47	6.961	2.99	7.659	3.51	8.298	4.03	8.892	4.55	9.448
2.48	6.975	3.00	7.672	3.52	8.310	4.04	8.903	4.56	9.458
2.49	6.989	3.01	7.684	3.53	8.322	4.05	8.914	4.57	9.468
2.50	7.003	3.02	7.697	3.54	8.333	4.06	8.925	4.58	9.479
2.51	7.017	3.03	7.710	3.55	8.345	4.07	8.936	4.59	9.489
2.52	7.031	3.04	7.722	3.56	8.357	4.08	8.946	4.60	9.500
2.53	7.045	3.05	7.735	3.57	8.369	4.09	8.957	4.61	9.510
2.54	7.059	3.06	7.748	3.58	8.380	4.10	8.968	4.62	9.520
2.55	7.073	3.07	7.760	3.59	8.392	4.11	8.979	4.63	9.530
2.56	7.087	3.08	7.773	3.60	8.404	4.12	8.990	4.64	9.541
2.57	7.101	3.09	7.786	3.61	8.415	4.13	9.001	4.65	9.551
2.58	7.114	3.10	7.798	3.62	8.427	4.14	9.012	4.66	9.561
2.59	7.128	3.11	7.811	3.63	8.439	4.15	9.023	4.67	9.572
2.60	7.142	3.12	7.823	3.64	8.450	4.16	9.034	4.68	9.582
2.61	7.156	3.13	7.836	3.65	8.462	4.17	9.045	4.69	9.592
2.62	7.169	3.14	7.849	3.66	8.474	4.18	9.055	4.70	9.602
2.63	7.183	3.15	7.861	3.67	8.485	4.19	9.066	4.71	9.612
2.64	7.197	3.16	7.873	3.68	8.497	4.20	9.077	4.72	9.623
2.65	7.210	3.17	7.886	3.69	8.508	4.21	9.088	4.73	9.633
2.66	7.224	3.18	7.898	3.70	8.520	4.22	9.099	4.74	9.643
2.67	7.237	3.19	7.911	3.71	8.531	4.23	9.109	4.75	9.653
2.68	7.251	3.20	7.923	3.72	8.543	4.24	9.120	4.76	9.663
2.69	7.265	3.21	7.936	3.73	8.554	4.25	9.131	4.77	9.673
2.70	7.278	3.22	7.948	3.74	8.566	4.26	9.142	4.78	9.684
2.71	7.291	3.23	7.960	3.75	8.577	4.27	9.152	4.79	9.694
2.72	7.305	3.24	7.973	3.76	8.588	4.28	9.163	4.80	9.704
2.73	7.318	3.25	7.985	3.77	8.600	4.29	9.174	4.81	9.714
2.74	7.332	3.26	7.997	3.78	8.611	4.30	9.185	4.82	9.724
2.75	7.345	3.27	8.009	3.79	8.623	4.31	9.195	4.83	9.734
2.76	7.358	3.28	8.022	3.80	8.634	4.32	9.206	4.84	9.744
2.77	7.372	3.29	8.034	3.81	8.645	4.33	9.217	4.85	9.754
2.78	7.385	3.30	8.046	3.82	8.657	4.34	9.227	4.86	9.764
2.79	7.398	3.31	8.058	3.83	8.668	4.35	9.238	4.87	9.774
2.80	7.411	3.32	8.070	3.84	8.679	4.36	9.248	4.88	9.784
2.81	7.425	3.33	8.082	3.85	8.691	4.37	9.259	4.89	9.794
2.82	7.437	3.34	8.095	3.86	8.702	4.38	9.270	4.90	9.804
2.83	7.451	3.35	8.107	3.87	8.713	4.39	9.280	4.91	9.814
2.84	7.464	3.36	8.119	3.88	8.725	4.40	9.291	4.92	9.824
2.85	7.477	3.37	8.131	3.89	8.736	4.41	9.301	4.93	9.834
2.86	7.490	3.38	8.143	3.90	8.747	4.42	9.312	4.94	9.844
2.87	7.503	3.39	8.155	3.91	8.758	4.43	9.322	4.95	9.854
2.88	7.517	3.40	8.167	3.92	8.769	4.44	9.333	4.96	9.864
2.89	7.530	3.41	8.179	3.93	8.780	4.45	9.343	4.97	9.874
2.90	7.543	3.42	8.191	3.94	8.792	4.46	9.354	4.98	9.884
2.91	7.556	3.43	8.203	3.95	8.803	4.47	9.364	4.99	9.894
2.92	7.569	3.44	8.215	3.96	8.814	4.48	9.375	5.00	9.904
2.93	7.582	3.45	8.227	3.97	8.825	4.49	9.385		

CHARGES sur le sommet des orifices.	Valeurs du coefficient k pour des hauteurs d'orifice de					
	0m.20	0m.10	0m.05	0m.03	0m.02	0m.01
m 1.300	0.603	0.613	0.622	0.624	0.625	0.622
1.400	0.603	0.612	0.621	0.622	0.622	0.618
1.500	0.602	0.611	0.620	0.620	0.619	0.615
1.600	0.602	0.611	0.618	0.618	0.617	0.613
1.700	0.602	0.610	0.617	0.616	0.615	0.612
1.800	0.601	0.609	0.615	0.615	0.614	0.612
1.900	0.601	0.608	0.614	0.613	0.612	0.611
2.000	0.601	0.607	0.613	0.612	0.612	0.611
3.000	0.601	0.603	0.606	0.608	0.610	0.609
2° *Les charges étant la hauteur du niveau de l'eau, immédiatement au-dessus de l'orifice, au-dessus de l'arête supérieure de cet orifice.*						
0.000	0.619	0.667	0.713	0.766	0.783	0.795
0.005	0.597	0.630	0.668	0.725	0.750	0.778
0.010	0.595	0.618	0.642	0.687	0.720	0.762
0.015	0.594	0.615	0.639	0.674	0.707	0.745
0.020	0.594	0.614	0.638	0.668	0.697	0.729
0.030	0.593	0.613	0.637	0.659	0.685	0.708
0.040	0.593	0.612	0.636	0.654	0.678	0.695
0.050	0.593	0.612	0.636	0.651	0.672	0.686
0.060	0.594	0.613	0.635	0.647	0.668	0.684
0.070	0.594	0.613	0.635	0.645	0.665	0.677
0.080	0.594	0.613	0.635	0.643	0.662	0.675
0.090	0.595	0.614	0.634	0.641	0.659	0.672
0.100	0.595	0.614	0.634	0.640	0.657	0.669
0.120	0.596	0.614	0.633	0.637	0.655	0.665
0.140	0.597	0.614	0.632	0.636	0.653	0.661
0.160	0.597	0.615	0.631	0.635	0.651	0.659
0.180	0.598	0.615	0.631	0.634	0.650	0.657
0.200	0.599	0.615	0.630	0.633	0.649	0.656
0.250	0.600	0.616	0.630	0.632	0.646	0.653
0.300	0.601	0.616	0.629	0.632	0.644	0.651
0.400	0.602	0.617	0.629	0.631	0.642	0.647
0.500	0.603	0.617	0.628	0.630	0.640	0.645
0.600	0.604	0.617	0.627	0.630	0.638	0.643
0.700	0.604	0.616	0.627	0.629	0.637	0.640
0.800	0.605	0.616	0.627	0.629	0.636	0.637
0.900	0.605	0.615	0.626	0.628	0.634	0.635
1.000	0.605	0.615	0.626	0.628	0.633	0.632
1.100	0.604	0.614	0.625	0.627	0.631	0.629
1.200	0.604	0.614	0.624	0.626	0.628	0.626
1.300	0.603	0.613	0.622	0.624	0.625	0.622
1.400	0.603	0.612	0.621	0.622	0.622	0.618
1.500	0.602	0.611	0.620	0.620	0.619	0.615
1.600	0.602	0.611	0.618	0.618	0.617	0.613
1.700	0.602	0.610	0.617	0.616	0.615	0.612
1.800	0.601	0.609	0.615	0.615	0.614	0.612
1.900	0.601	0.608	0.614	0.613	0.613	0.611
2.000	0.601	0.607	0.614	0.612	0.612	0.611
3.000	0.601	0.603	0.606	0.608	0.610	0.609

Lorsque la hauteur de l'orifice dépasse $0^m,20$, on peut prendre pour coefficients de la dépense ceux de la hauteur $0^m,20$.

Les coefficients du tableau précédent s'appliquent à un orifice de forme quelconque, sans angle rentrant, pourvu que la plus petite dimension de l'orifice soit la hauteur du tableau, et ils s'appliquent aux orifices noyés comme à ceux qui débouchent à l'air libre; seulement, dans ce dernier cas, la hauteur génératrice est la différence des niveaux de l'eau au-dessus des deux faces de l'orifice (136); ainsi on a

$$Q = ks\sqrt{2g(h-h')}.$$

Application. Quel est le volume d'eau qui s'écoule en une seconde par un orifice rectangulaire de $0^m,20$ de largeur et $0^m,10$ de hauteur, la charge au-dessus de l'arête supérieure de l'orifice, mesurée en un point où l'eau est stagnante, étant $0^m,95$, et la contraction de la veine étant complète ?

Faisant $k=0,615$, $s=0,20\times0,10$ et $h=0,95+0,05=1,00$ dans la formule du n° 139, on a

$$Q=0,615\times0,20\times0,10\sqrt{2\times9,8088\times1}=0^{m.cu},545.$$

141. *Influence de la largeur de l'orifice.* D'après les expériences de M. Lesbros, le coefficient de la dépense dépend du plus petit des intervalles qui séparent les bords opposés de l'orifice (140); mais il est indépendant, toutes choses égales d'ailleurs, de l'autre dimension de l'orifice. Ainsi pour trois orifices rectangulaires en mince paroi, de $0^m,02$ de hauteur et de $0^m,60$, $0^m,20$ et $0^m,02$ de largeur, la charge en un point où l'eau est stagnante sur le sommet de l'orifice ayant varié de $0^m,01$ à $3^m,00$ le coefficient de la dépense a varié de 0,644 à 0,615 pour le premier orifice et de 0,660 à 0,608 pour les deux derniers.

142. *Orifice percé dans une paroi en bois de $0^m,05$ d'épaisseur*; le seuil ayant $0^m,10$ de largeur à cause de la pièce de bois sur laquelle vient reposer le bas de la vanne quand elle ferme l'orifice; la vanne glissant entre deux joues verticales de $0^m,05$ d'épaisseur placées à une certaine distance des bords de l'orifice, et le seuil et les bords verticaux de l'orifice étant complétement isolés du fond et des parois du réservoir, ce qui rend la contraction complète. Les arêtes de l'orifice sont vives du côté d'amont et du côté d'aval, sans aucun biseau.

Cette disposition, qui se rencontre ordinairement dans les pertuis d'usine, et qu'il sera facile de réaliser pour les jaugeages relatifs aux moteurs hydrauliques, a été expérimentée par M. le colonel du génie Lesbros; le tableau suivant contient les valeurs du coefficient k de la dépense pour un orifice de $0^m,60$ de largeur, débouchant à l'air libre, la charge sur le sommet de l'orifice étant prise en un point où l'eau est parfaitement stagnante (157).

CHARGES sur le sommet de l'orifice.	Valeurs du coefficient k pour des hauteurs d'orifice de				CHARGES sur le sommet de l'orifice.	Valeurs du coefficient k pour des hauteurs d'orifice de			
	0m.10	0m.20	0m.05	0m.03		0m.10	0m.20	0m.05	0m.03
m					m				
0.010	»	»	0.627	0.657	0.500	0.653	0.678	0.696	0.711
0.015	»	»	0.630	0.661	0.600	0.650	0.677	0.696	0.710
0.020	»	»	0.634	0.664	0.700	0.646	0.677	0.696	0.709
0.030	»	0.636	0.640	0.670	0.800	0.643	0.676	0.695	0.708
0.040	»	0.641	0.646	0.675	0.900	0.639	0.676	0.695	0.707
0.050	0.624	0.645	0.651	0.680	1.000	0.636	0.676	0.695	0.706
0.060	0.627	0.648	0.656	0.684	1.100	0.633	0.676	0.695	0.704
0.070	0.629	0.652	0.661	0.687	1.200	0.630	0.675	0.695	0.703
0.080	0.631	0.654	0.665	0.690	1.300	0.628	0.675	0.695	0.702
0.090	0.633	0.656	0.669	0.693	1.400	0.626	0.675	0.694	0.701
0.100	0.635	0.658	0.672	0.695	1.500	0.624	0.675	0.694	0.700
0.120	0.639	0.662	0.679	0.699	1.600	0.622	0.675	0.694	0.699
0.140	0.642	0.664	0.684	0.702	1.700	0.621	0.675	0.694	0.699
0.160	0.644	0.667	0.687	0.704	1.800	0.620	0.674	0.694	0.698
0.180	0.646	0.669	0.689	0.706	1.900	0.618	0.674	0.694	0.697
0.200	0.648	0.671	0.691	0.707	2.000	0.617	0.674	0.694	0.697
0.300	0.654	0.677	0.695	0.710	3.000	0.607	0.673	0.692	0.693
0.400	0.654	0.679	0.696	0.711					

143. *Contraction incomplète.* Lorsqu'une partie du contour de l'orifice fait prolongement aux parois du vase, la contraction est supprimée sur cette partie, et, par suite, elle est incomplète. Dans ce cas, d'après les expériences de Bidone, on a, selon que l'orifice est rectangulaire ou circulaire,

$$k' = k\left(1 + 0{,}1523\,\frac{n}{p}\right) \quad \text{ou} \quad k' = k\left(1 + 0{,}1279\,\frac{n}{p}\right).$$

k' coefficient de la dépense dans le cas de la contraction incomplète;
k coefficient de la dépense dans le cas de la contraction complète; sa valeur est celle indiquée au tableau du n° 140;
n portion du contour de l'orifice sur laquelle la contraction est supprimée;
p périmètre total de l'orifice.

144. *Expériences de M. Lesbros sur des orifices où la contraction est incomplète et que l'on rencontre habituellement dans la pratique.*

1° M. Lesbros, en opérant sur un orifice de 0m,20 de largeur sur 0m,20 de hauteur, le fond et les parois latérales étant dans le prolongement du fond et des parois du réservoir, mais le bord supérieur étant taillé en biseau du côté d'aval pour réaliser la mince paroi du côté d'amont, a obtenu, en faisant varier de 0m,19 à 1m,70 la charge sur le sommet de l'orifice, mesurée où l'eau est stagnante, pour k', c'est-à-dire pour le coefficient de k de la formule $Q = ks\sqrt{2gh}$, des valeurs qui ont varié de 0,715 à 0,670 et qui ont été en moyenne

de 0,680. Les côtés verticaux de l'orifice étant en saillie de 0m,02 sur les parois du réservoir et taillés en biseau comme le dessus, disposition qui peut se rencontrer par suite de la forme des feuillures dans lesquelles glisse la vanne, la charge ayant varié de 0m,16 à 1m,70, *k* a varié de 0,679 à 0,660 et a été 0,668 en moyenne; valeurs sensiblement les mêmes que dans le cas précédent.

2° La contraction n'étant supprimée que sur les côtés verticaux de l'orifice, qui sont dans le prolongement des parois des réservoirs, mais le seuil étant éloigné du fond du réservoir et taillé en biseau comme le bord supérieur, M. Lesbros a obtenu pour un orifice de 0m,20 de largeur les valeurs de *k* du tableau suivant, qui suppose les charges mesurées où l'eau est parfaitement stagnante.

CHARGES sur le sommet de l'orifice.	Valeurs de *k* pour des haut. d'orifice de		
	0m.20	0m.05	0m.01
m			
0.01	»	0.659	0.730
0.05	0.648	0.649	0.695
0.10	0.645	0.645	0.683
0.20	0.644	0.642	0.675
1.00	0.638	0.634	0.658
1.50	0.637	0.627	0.654
2.00	0.636	0.621	0.647
3.00	0.634	0.614	0.614

3° *Orifices ordinaires*. M. Lesbros a encore étudié le cas où le seuil et les côtés verticaux étant complétement isolés des parois du réservoir, ils n'ont que 0m,267 d'épaisseur; d'où il résulte que la contraction n'est réellement complète que sur le bord supérieur de l'orifice qui était taillé en biseau. Cette disposition se rencontre très-fréquemment dans les vannes de décharge et d'usine; les orifices sont limités à deux montants verticaux de 0m,25 à 0m,30 d'équarrissage, dont les pieds reposent sur une pièce horizontale en saillie sur le fond du canal et formant le seuil de l'orifice.

TABLEAU des valeurs de k, obtenues par M. Lesbros, pour un orifice de 0m.20 de largeur, les charges étant mesurées où l'eau est stagnante.

(a) Quand les bords de l'orifice sont à vive arête du côté d'amont;
(b) Quand ces arêtes sont légèrement arrondies pour diminuer la contraction.

CHARGES sur le sommet de l'orifice.	(a) ARÊTES VIVES. Valeurs de k pour des haut. d'orifice de			(b) ARÊTES ARRONDIES. Valeurs de k pour des haut. d'orifice de		
	0m.20	0m.05	0m.01	0m.20	0m.05	0m.01
m 0.05	»	0.719	0.711	»	0.717	0.729
0.06	»	0.716	0.708	»	0.715	0.726
0.08	»	0.712	0.704	»	0.711	0.721
0.10	»	0.709	0.701	»	0.709	0.717
0.12	»	0.706	0.699	»	0.706	0.714
0.14	»	0.703	0.697	»	0.704	0.711
0.16	0.760	0.700	0.695	0.738	0.703	0.709
0.18	0.732	0.698	0.693	0.722	0.701	0.706
0.20	0.713	0.696	0.692	0.713	0.700	0.704
0.30	0.688	0.689	0.687	0.705	0.697	0.697
0.40	0.684	0.685	0.683	0.703	0.695	0.694
0.50	0.682	0.682	0.681	0.702	0.695	0.693
1.00	0.680	0.679	0.680	0.700	0.692	0.695
1.50	0.679	0.677	0.677	0.699	0.688	0.692
2.00	0.678	0.675	0.673	0.698	0.684	0.688
3.00	0.676	0.672	0.670	0.696	0.680	0.684

Remarque. Du côté d'aval, les orifices soumis à l'expérience (1°, 2° et 3°) se terminaient sur tout leur pourtour par un biseau de même largeur que celui du bord supérieur.

145. *Vanne d'écluse.* Pour une vanne d'écluse, dont le seuil est en général très-rapproché du fond du radier d'amont, le coefficient de la dépense est 0,625, que la vanne soit ou non noyée sur les deux faces.

Application. Quelle est la dépense par seconde d'une vanne de 1m,20 de largeur et de 0m,20 de levée, la charge sur le centre de l'orifice étant 2m,50 ?

Le tableau du n° 134 donnant 7m,003 pour vitesse d'écoulement, la dépense est

$$0,625 \times 1,20 \times 0,20 \times 7,003 = 1^{\text{m.cu.}},050.$$

146. *Orifices voisins.* Pour deux vannes très-rapprochées, comme celles des portes busquées d'une écluse à sas, on prenait pour coefficient de la dépense 0,55; mais des expériences faites par M. Castel ont démontré que le voisinage de deux ou de trois orifices ne change pas le coefficient de la dépense; il conviendra donc, comme dans le cas précédent, de le faire égal à 0,625.

147. *Vannes inclinées.* Pour des vannes inclinées, comme celles des roues à la Poncelet, dont la face inférieure et les deux faces latérales sont dans le prolongement des parois du réservoir, on a

$k=0{,}74$ pour une inclinaison de 1 de base sur 2 de hauteur, et $k=0{,}80$ pour une inclinaison de 1 de base sur 1 de hauteur. La section s de la vanne (138) se prend égale au produit de la largeur par la hauteur de l'ouverture, cette hauteur étant mesurée verticalement et non suivant l'inclinaison de la vanne. (Pour la charge à prendre dans le cas des roues à la Poncelet, consulter ce genre de roues.)

148. *Lorsqu'un orifice est prolongé à l'intérieur du vase par un tuyau assez court pour que l'écoulement n'ait pas lieu à gueule-bée* (135), ce que l'on reconnaît à la simple vue, le coefficient k de la dépense s'abaisse, d'après les expériences de Borda et celles de Bidone, à 0,515, et même 0,50.

On voit que cette disposition, que l'on rencontre quelquefois dans les appareils hydrauliques et dans les jets d'eau, est très-désavantageuse à la dépense.

149. *Orifices circulaires garnis d'ajutages cylindriques de même diamètre.* Dans ce cas, il résulte des expériences faites par Eytelwein avec une série de tubes de $0^m{,}026$ de diamètre, que le coefficient de la dépense (139) varie avec le rapport de la longueur de l'ajutage à son diamètre, et qu'il est respectivement pour les rapports

1 et au-dessous,	2 à 3,	12,	24,	36,	43,	60 :
0,62,	0.82,	0.77,	0.73,	0.68,	0.63,	0.60.

En faisant abstraction du frottement de l'eau dans l'ajutage, ce qui ne peut guère être permis que quand sa longueur ne dépasse pas trois fois au plus le diamètre ou la plus petite dimension de l'orifice (135), on a d'après Navier, pour les ajutages prismatiques,

$$U=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{1}{k}-1\right)^2}}\sqrt{2gh} \quad \text{et} \quad Q=sU.$$

U vitesse de l'eau dans le tuyau, au point où la veine cesse d'être contractée, c'est-à-dire à une distance de l'orifice égale à 1 fois ou 1 fois 1/2 son diamètre (135);
h charge sur le centre de gravité de l'orifice;
k coefficient de la dépense applicable à l'orifice quand il est en mince paroi et que la contraction est complète;
Q dépense par l'ajutage;
s section de l'orifice ou de l'ajutage.

Des orifices en mince paroi ayant donné $k=0{,}61$, après leur avoir adapté un ajutage, on a obtenu $U=0{,}82\sqrt{2gh}$, au lieu de $U=84\sqrt{2gh}$ que donne la formule précédente.

150. *Orifices circulaires garnis d'ajutages coniques convergents*, c'est-à-dire d'ajutages dont le diamètre va en diminuant à partir de la paroi du vase. Dans ce cas, on prend pour section de l'orifice celle de l'extrémité de l'ajutage, et pour charge génératrice, la charge sur le centre de cette extrémité. M. Castel, en opérant sur des ajutages dont la longueur était égale à 2,6 fois le diamètre à l'extrémité, a trouvé pour coefficient de la dépense (139) et pour coeffi-

cient de la vitesse (133 et 135), les résultats du tableau suivant, qui varient, comme on le voit, avec l'angle de convergence que font entre elles les génératrices de l'ajutage.

ANGLES de convergence.	COEFFICIENTS de la dépense.	COEFFICIENTS de la vitesse.	ANGLES de convergence.	COEFFICIENTS de la dépense.	COEFFICIENTS de la vitesse.
0° 0′	0.829	0.830	13° 24′	0.946	0.962
1 36	0.866	0.866	14 28	0.941	0.966
3 10	0.895	0.894	16 36	0.938	0.971
4 10	0.912	0.910	19 28	0.924	0.970
5 26	0.924	0.920	21 0	0.918	0.971
7 52	0.929	0.931	23 0	0.913	0.974
8 58	0.934	0.942	29 58	0.896	0.975
10 20	0.938	0.950	40 20	0.869	0.980
12 4	0.942	0.955	48 50	0.847	0.984

Les résultats de ce tableau ont été obtenus avec une série d'ajutages dont le diamètre à l'extrémité était 0m,015 5. Une autre série dont le diamètre était 0m,020 a donné des résultats de si peu supérieurs à ces premiers, que l'on peut supposer que la différence provient d'une légère erreur dans l'évaluation des diamètres.

Ces expériences, qui ont été faites sous des charges qui ont varié de 0m,215 à 3m,030, prouvent que les coefficients de la dépense et de la vitesse sont indépendants de la charge.

151. *Ajutages coniques divergents.* Le tableau suivant donne les résultats obtenus par Venturi, en opérant sous une charge constante de 0m,88. Les tubes portaient à leur extrémité adaptée au vase une embouchure convergente à peu près de la forme de la veine contractée. Cette embouchure avait 0m,0406 de diamètre près du vase, et 0m,0338 au point d'où ses génératrices commençaient à diverger.

LONGUEURS des ajutages.	ANGLES de divergence.	COEFFICIENTS de la dépense.	LONGUEURS des ajutages.	ANGLES de divergence.	COEFFICIENTS de la dépense.
m 0.111	3° 30′	0.93	m 0.059	5° 44′	0.82
0.334	4 38	1.21	0.264	10 16	0.91
0.460	4 38	1.21	0.045	10 16	0.91
0.460	4 38	1.34	0.045	14 14	0.61
0.176	5 44	1.02			

Venturi conclut de ses expériences que la dépense est maximum quand la longueur de l'ajutage est égale à 9 fois le diamètre de la plus petite base, et que l'angle de divergence que font entre elles les génératrices est de 5°6′. Avec ces proportions, dit l'auteur, la dépense est égale à 2,4 fois la dépense du même orifice en mince paroi, ou à 1,46 fois la dépense théorique.

152. *Orifices prolongés en dehors par un coursier horizontal de même largeur et découvert.* M. Lesbros a expérimenté un orifice rectangulaire de 0m,20 de largeur, ainsi prolongé d'un coursier; le bord supérieur de l'orifice étant dans tous les cas taillé en biseau, comme au n° 144, il a obtenu pour le coefficient k les valeurs du tableau suivant :

(*a*) Contraction complète, c'est-à-dire le seuil et les côtés verticaux de l'orifice étant éloignés du fond et des parois latérales du réservoir;
(*b*) Contraction supprimée sur le seuil de l'orifice, qui coïncide avec le fond du réservoir;
(*c*) Contraction supprimée sur un des côtés verticaux;
(*d*) Contraction supprimée sur le seuil et un des côtés verticaux;
(*e*) Contraction supprimée sur le seuil et les côtés verticaux (4°, n° 144).

Les charges sont, dans tous les cas, mesurées où l'eau est stagnante.

CHARGES sur le sommet de l'orifice.	Valeur de k pour les dispositifs et les hauteurs d'orifice :																	
	(*a*)					(*b*)			(*c*)			(*d*)				(*e*)		
	0m.20	0m.40	0m.05	0m.03	0m.01	0m.20	0m.05	0m.04	0m.20	0m.05	0m.01	0m.20	0m.05	0m.03	0m.01	0m.20	0m.05	0m.04
m																		
0.010	»	0.458	0.447	0.424	0.566	»	0.435	0.571	»	0.526	0.653	»	0.432	0.486	0.569	»	0.472	0.584
0.015	0.471	0.472	0.468	0.467	0.583	»	0.463	0.596	0.482	0.542	0.664	»	0.458	0.546	0.590	»	0.493	0.607
0.020	0.480	0.484	0.488	0.504	0.599	0.480	0.487	0.646	0.489	0.555	0.667	»	0.483	0.539	0.607	»	0.512	0.625
0.030	0.493	0.507	0.525	0.554	0.626	0.493	0.526	0.642	0.500	0.575	0.676	0.493	0.522	0.573	0.634	»	0.543	0.654
0.040	0.503	0.527	0.555	0.598	0.645	0.502	0.552	0.660	0.509	0.589	0.682	0.502	0.550	0.595	0.654	0.518	0.566	0.667
0.050	0.511	0.544	0.577	0.629	0.658	0.510	0.574	0.670	0.547	0.600	0.684	0.509	0.570	0.609	0.662	0.528	0.582	0.679
0.060	0.518	0.557	0.594	0.632	0.667	0.517	0.583	0.676	0.523	0.608	0.684	0.515	0.584	0.617	0.670	0.530	0.595	0.686
0.070	0.525	0.568	0.606	0.632	0.671	0.523	0.592	0.680	0.530	0.614	0.683	0.520	0.593	0.621	0.676	0.543	0.604	0.692
0.080	0.531	0.576	0.614	0.633	0.672	0.528	0.598	0.682	0.535	0.619	0.682	0.525	0.604	0.624	0.680	0.549	0.614	0.692
0.090	0.537	0.582	0.620	0.633	0.672	0.533	0.602	0.683	0.544	0.622	0.680	0.530	0.606	0.626	0.682	0.555	0.616	0.696
0.100	0.542	0.586	0.624	0.633	0.674	0.538	0.605	0.682	0.545	0.625	0.679	0.534	0.609	0.627	0.685	0.560	0.624	0.697
0.200	0.574	0.606	0.631	0.632	0.664	0.566	0.617	0.679	0.576	0.633	0.666	0.562	0.623	0.635	0.688	0.589	0.637	0.698
0.300	0.591	0.612	0.629	0.634	0.658	0.580	0.622	0.676	0.590	0.632	0.659	0.577	0.627	0.637	0.684	0.603	0.643	0.696
0.400	0.597	0.615	0.626	0.630	0.652	0.587	0.625	0.673	0.597	0.634	0.654	0.586	0.629	0.638	0.684	0.613	0.646	0.694
0.500	0.599	0.615	0.625	0.629	0.648	0.592	0.626	0.674	0.602	0.630	0.651	0.591	0.630	0.638	0.678	0.619	0.647	0.694
1.000	0.604	0.615	0.624	0.625	0.634	0.600	0.628	0.665	0.609	0.627	0.634	0.604	0.633	0.638	0.674	0.630	0.649	0.685
2.000	0.601	0.607	0.613	0.613	0.613	0.602	0.623	0.654	0.640	0.616	0.620	0.604	0.631	0.636	0.659	0.632	0.644	0.674
3.000	0.604	0.603	0.606	0.607	0.609	0.604	0.648	0.652	0.609	0.609	0.645	0.602	0.628	0.634	0.656	0.630	0.639	0.670

On pourra calculer la vitesse moyenne de l'eau dans le coursier, à une distance de l'orifice égale à 1,5 ou 2 fois la plus petite dimension de cet orifice, à l'aide de la formule donnée par Navier pour le cas des orifices garnis d'ajutages prismatiques (149).

Pour un coursier incliné, en négligeant le frottement de l'eau contre les parois, on a

$$u = \sqrt{2g(H + H')}.$$

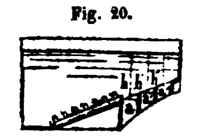
u vitesse moyenne à l'extrémité du coursier;

$H = \frac{U^2}{2g}$ hauteur due à la vitesse à l'origine du coursier (149);

H' pente totale du coursier.

153. *Orifices garnis d'ajutages-directeurs* (fig. 20). Dans les roues à augets qui prennent l'eau en dessous du sommet, il arrive souvent que l'orifice de la vanne est garni d'un certain nombre d'ajutages qui dirigent l'eau dans les augets. Dans ce cas, on considère séparément chaque ajutage découvert, et l'on prend, dans le calcul de la dépense (139), pour largeur de la vanne, celle de l'ajutage; pour levée de la vanne, la plus petite distance a ou a', ou a''..... des diaphragmes qui forment l'ajutage considéré; pour hauteur génératrice, la hauteur h, ou h', ou h''..... du niveau de l'eau au-dessus du centre de gravité de la plus petite distance a, ou a', ou a''.....; enfin, pour coefficient de la dépense, 0,75. La somme des dépenses des différents orifices est la dépense totale.

Fig. 20.



154. Lorsqu'une vanne est accompagnée d'une buse pyramidale appelée *bec-de-cane*, comme cela a encore lieu pour distribuer l'eau sur la roue dans quelques anciennes usines, dans le calcul de la dépense (139), on prend pour ouverture de la vanne la section de l'extrémité du bec-de-cane; pour charge génératrice, la charge sur le centre de l'extrémité du bec, et pour coefficient de la dépense, 0,98; cette valeur est tirée des résultats de trois expériences de M. Lespinasse, sur une buse de 2m,923 de longueur, ayant 0m,731 sur 0m,975 à sa grande base, et 0m,135 sur 0m,190 à la petite. D'après des expériences de MM. Piobert et Tardy, il convient de faire ce coefficient égal à 0,864 quand les buses sont garnies intérieurement de cadres en bois ou en fer faisant saillie.

155. *Orifices en déversoir*. Pour les orifices en déversoir, la dépense effective est donnée par la formule

$$Q = kLH\sqrt{2gH}.$$

Q volume d'eau écoulé par seconde;

k coefficient de la dépense;

L largeur du déversoir;

H hauteur du niveau de l'eau au-dessus du seuil du déversoir ; cette hauteur se mesure en un point où le dénivellement ne se fait plus sentir, c'est-à-dire à 3 ou 4 mètres en amont du déversoir (163).

TABLEAU des valeurs du coefficient k *obtenues par M. Lesbros en opérant sur un orifice de* 0m.20 *de largeur versant à l'air libre ; les bords de l'orifice étant taillés en biseau à 45°, comme aux nos 144 et 152, ce qui réalise une mince paroi.*

(*a*) Contraction complète ; la hauteur du seuil au-dessus du fond du réservoir est de 0m.54, et la distance D des côtés verticaux aux parois du réservoir est de 1m.74.
(*a'*), (*a''*), (*a'''*). Le seuil, comme pour (*a*), mais la distance D est respectivement 0m.54, 0m.02 et 0m.00 ; ainsi pour (*a'''*), la contraction est entièrement supprimée sur les côtés verticaux.
(*b*) Contraction supprimée sur le seuil, mais complète sur les côtés verticaux comme pour (*a*).
(*c*) Contraction supprimée sur le seuil, complète sur un côté vertical, et D = 0m.02 pour l'autre côté vertical, ce qui supprime à peu près la contraction sur ce dernier côté, comme le fait voir la comparaison des valeurs de *k* des dispositifs (*a''*) et (*a'''*),
(*d*) Contraction supprimée sur le fond, et D = 0m.02 pour les deux côtés verticaux.

VALEURS de H.	Valeurs de *k* pour les dispositifs						
	(*a*)	(*a'*)	(*a''*)	(*a'''*)	(*b*)	(*c*)	(*d*)
m 0.01	0.424	0.436	0.457	0.492	0.384	0.362	0.292
0.02	0.417	0.428	0.444	0.473	0.402	0.379	0.318
0.03	0.412	0.422	0.435	0.459	0.410	0.388	0.337
0.04	0.407	0.416	0.429	0.449	0.411	0.394	0.352
0.05	0.404	0.411	0.426	0.442	0.411	0.398	0.362
0.06	0.401	0.407	0.424	0.437	0.410	0.400	0.370
0.07	0.398	0.405	0.422	0.435	0.409	0.402	0.375
0.08	0.397	0.402	0.421	0.434	0.409	0.403	0.379
0.09	0.396	0.400	0.421	0.434	0.409	0.404	0.380
0.10	0.395	0.399	0.420	0.434	0.408	0.405	0.382
0.11	0.394	0.397	0.420	0.434	0.408	0.406	0.382
0.12	0.394	0.396	0.420	0.434	0.408	0.406	0.383
0.13	0.394	0.396	0.421	0.434	0.408	0.407	0.383
0.14	0.393	0.395	0.422	0.434	0.408	0.407	0.383
0.16	0.393	0.394	0.424	0.433	0.407	0.407	0.384
0.18	0.392	0.393	0.424	0.432	0.406	0.408	0.383
0.20	0.390	0.391	0.424	0.432	0.405	0.408	0.383
0.22	0.386	0.389	0.424	0.430	0.405	0.408	0.382
0.25	0.379	0.383	0.422	0.428	0.404	0.407	0.381
0.30	0.374	0.375	0.418	0.424	0.403	0.406	0.378

156. *Influence du rapport de la largeur du déversoir à celle du canal.* D'expériences exécutées par M. Castel, sur deux canaux de 0m.74 et 0m.36 de largeur, le seuil du déversoir étant à 0m.17 au-dessus du fond du canal, il résulte, comme le confirme la colonne (*a'*) du tableau précédent, que dans la pratique on peut faire $k = 0.40$ quand la largeur du déversoir varie de 1/5 de celle du canal jusqu'à la va-

leur absolue 0m.05. Pour le jaugeage des petits cours d'eau ou des sources, on pourra établir des petits barrages à arêtes vives et employer cette valeur de k.

Lorsque la largeur du déversoir est égale à celle du canal (158, comme pour les vannes de roues hydrauliques, les barrages de rivières, etc., le barrage étant vertical, mince et à arêtes vives, on a sans erreur sensible $k=0,443$ (valeur que semble confirmer la colonne (a'') du tableau précédent). Toutefois, dit M. d'Aubuisson, la hauteur H ne doit pas excéder le tiers de la hauteur du barrage au-dessus du fond du canal; car au delà de cette limite la vitesse d'arrivée de l'eau augmente le débit.

Voici du reste, pour des charges H comprises entre 0m.03 et 0m.22, les valeurs moyennes de k admises par M. d'Aubuisson, pour différents rapports r entre la largeur du déversoir et celle du canal :

Rapports r.	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.25
Valeurs de k.	0.443	0.438	0.434	0.423	0.416	0.410	0.405	0.399	0.398

157. *TABLEAU des valeurs de k obtenues par M. Lesbros pour un déversoir de 0m.60 de largeur ouvert dans des parois de 0m.05 sur le seuil et les côtés, sans biseau; le seuil étant à 0m.54 au-dessus du fond du réservoir, et les côtés verticaux se trouvant à 1m.54 des parois de ce réservoir. Les valeurs de k limitées à H=0m.10 et H=0m.45 ont été obtenues par l'expérience ; en deçà et au delà de ces limites, les valeurs de k ont été déduites de la représentation graphique des premières (142).*

H est toujours mesurée en un point où l'eau est parfaitement stagnante.

VALEURS de H.	VALEURS de k.	VALEURS de H.	VALEURS de k.	VALEURS de H.	VALEURS de k.	VALEURS de H.	VALEURS de k.
m		m		m		m	
0.01	0.424	0.07	0.410	0.16	0.399	0.40	0.394
0.02	0.421	0.08	0.409	0.18	0.397	0.50	0.394
0.03	0.418	0.09	0.407	0.20	0.395	0.60	0.390
0.04	0.416	0.10	0.406	0.25	0.392	0.80	0.390
0.05	0.414	0.12	0.403	0.30	0.391	0.90	0.389
0.06	0.412	0.14	0.401	0.35	0.391	1.00	0.389

158. *Déversoirs de même largeur que le canal d'arrivée et de direction normale à ce canal* (156). M. le capitaine d'artillerie Boileau a exécuté à Metz, de 1845 à 1853 (*Traité de la mesure des eaux courantes*, 1854) des expériences sur ces déversoirs. Les barrages, formés de madriers, étant à parois verticales, et le seuil étant incliné à 45°, de manière à se terminer par une arête vive du côté d'amont, ce qui constitue un *barrage type*, les débits sont représentés par la formule du n° 155, dans laquelle, pour les *nappes libres*, c'est-à-dire détachées complétement du barrage du côté d'aval et tombant librement dans l'air, k prend les valeurs du tableau suivant.

Valeurs de H.	Valeurs de *k* pour des haut. de barrages au-dessus du fond du canal d'arrivée de									
	0m.20	0m.30	0m.40	0m.50	0m.60	0m.70	0m.80	0m.90	1m.00	1m.10
m										
0.04	0.421	0.426	0.418	0.408	0.402	0.404	0.413	0.425	0.418	0.408
0.05	0.419	0.423	0.419	0.409	0.399	0.398	0.409	0.423	0.416	0.406
0.06	0.416	0.422	0.414	0.404	0.398	0.400	0.410	0.422	0.416	0.406
0.07	0.418	0.422	0.415	0.404	0.398	0.400	0.410	0.422	0.416	0.406
0.08	0.418	0.424	0.415	0.405	0.399	0.404	0.411	0.422	0.416	0.406
0.09	»	0.424	0.422	0.416	0.408	0.407	0.413	0.419	0.416	0.409
0.10	»	0.425	0.424	0.418	0.410	0.409	0.413	0.419	0.416	0.411
0.12	»	0.428	0.427	0.421	0.414	0.409	0.412	0.420	0.419	0.413
0.14	»	»	0.432	0.424	0 413	0.408	0.410	0.422	0.424	0.414
0.16	»	»	0.436	0.430	0.418	0.408	0.410	0.426	0.425	0.415
0.18	»	»	»	0.432	0.424	0.416	0.417	0.428	0.424	0.416
0.20	»	»	»	0.436	0.431	0.427	0.428	0.430	0.426	0.418
0.22	»	»	»	»	0.435	0.432	0.433	0.432	0.428	0.419
0.24	»	»	»	»	0.435	0.434	0.437	0.434	0.429	0.423
0.26	»	»	»	»	0.435	0.437	0.439	0.437	0.431	0.425
0.28	»	»	»	»	0.437	0.439	0.441	0.440	0.434	0.427
0.30	»	»	»	»	»	0.441	0.444	0.444	0.437	0.427
0.32	»	»	»	»	»	»	0.445	0.445	0.442	0.427
0.34	»	»	»	»	»	»	0.443	0.445	0.441	0.427
0.36	»	»	»	»	»	»	0.440	0.443	0.437	0.426
0.38	»	»	»	»	»	»	0.441	0.441	0.433	0.424
0.40	»	»	»	»	»	»	0.443	0.440	0.432	0.423
0.42	»	»	»	»	»	»	0.445	0.440	0.433	»
0.44	»	»	»	»	»	»	0.447	0.442	0 434	»
0.46	»	»	»	»	»	»	0.449	0.444	0.436	»
0.48	»	»	»	»	»	»	0.451	»	»	»
0.50	»	»	»	»	»	»	0.454	»	»	»

Si, dans le barrage type précédent, la nappe, au lieu de tomber librement dans l'air sous forme de veine parabolique, comme le suppose le tableau ci-dessus, est *noyée en dessous*, c'est-à-dire si, par l'effet du niveau de l'eau dans le canal de fuite, le remou qui se forme à l'aval du barrage, entre ce barrage et la nappe liquide, s'élève jusqu'au sommet du barrage, le coefficient *k* prend les valeurs du tableau suivant.

Valeurs de H.	Valeurs de k pour des hauteurs de barrages au-dessus du fond du canal d'arrivée de :								
	0m.20	0m.25	0m.30	0m.35	0m.40	0m.45	0m.50	0m.55	0m.60
m									
0.09	0.485	»	»	»	»	»	»	»	»
0.10	0.483	»	»	»	»	»	»	»	»
0.11	0.481	»	»	»	»	»	»	»	»
0.12	0.479	»	»	»	»	»	»	»	»
0.13	0.476	»	»	»	»	»	»	»	»
0.14	0.473	»	»	»	»	»	»	»	»
0.15	0.468	0.472	0.477	0.483	»	»	»	»	»
0.16	0.463	0.466	0.472	0.479	»	»	»	»	»
0.17	0.458	0.462	0.467	0.475	0.486	»	»	»	»
0.18	0.453	0.458	0.463	0.470	0.481	»	»	»	»
0.19	0.451	0.455	0.459	0.467	0.478	»	»	»	»
0.20	0.448	0.452	0.456	0.464	0.476	»	»	»	»
0.22	0.445	0.448	0.452	0.460	0.472	0.489	»	»	»
0.24	0.441	0.444	0.449	0.457	0.470	0.486	»	»	»
0.26	0.437	0.440	0.446	0.454	0.467	0.483	»	»	»
0.28	0.432	0.437	0.444	0.452	0.466	0.480	»	»	»
0.30	0.427	0.435	0.444	0.452	0.462	0.469	0.475	0.480	0.486
0.32	0.421	0.430	0.438	0.446	0.454	0.461	0.468	0.474	0.480
0.34	0.418	0.424	0.431	0.438	0.445	0.453	0.460	0.467	0.474
0.36	0.417	0.424	0.431	0.438	0.444	0.450	0.457	0.463	0.469
0.38	0.417	0.424	0.431	0.438	0.444	0.450	0.455	0.460	0.464
0.40	0.417	0.424	0.431	0.438	0.444	0.449	0.453	0.457	0.461
0.42	»	»	»	»	0.444	0.448	0.452	0.455	0.456
0.44	»	»	»	»	0.443	0.447	0.450	0.453	0.456
0.46	»	»	»	»	0.441	0.445	0.448	0.451	0.454
0.48	»	»	»	»	0.439	0.442	0.446	0.448	0.450
0.50	»	»	»	»	0.437	0.439	0.442	0.444	0.445

En comparant les résultats des deux tableaux précédents, on voit que, contrairement à ce que l'on aurait pu supposer, sous une charge égale H, un même barrage débite un volume d'eau beaucoup plus grand quand il est noyé en dessous que quand la nappe coule librement.

D'après les observations de M. Boileau, la hauteur du barrage au-dessus du canal de fuite étant :

0m.200 0m.250 0m.300 0m.350 0m.400 0m.450 0m.500 0m.600

La charge H à laquelle la nappe commence à être noyée est respectivement :

0m.070 0m.095 0m.115 0m.135 0m.155 0m.180 0m.200 0m.280

159. *Barrages inclinés vers l'amont à* 1 *de base pour* 3 *de hauteur*, disposition fréquente dans la pratique.

1° M. Boileau, en inclinant ainsi un *barrage type* (158) de 0m,458 de hauteur au-dessus du fond du canal d'arrivée, a obtenu, pour différentes charges H, une valeur moyenne de k égale à 0,4136. Cette moyenne ayant été de 0,4153 pour le même barrage vertical d'égale

hauteur, on voit que l'inclinaison ne modifie pas sensiblement la dépense Q.

2° Un barrage incliné comme ci-dessus, épais de 0m,10 à 0m,12 et à seuil arrondi en demi-cylindre circulaire, a donné à M. Boileau les valeurs de k du tableau suivant, qui montrent que si l'inclinaison du barrage est sans effet sur le débit, il n'en est pas de même de la forme du seuil, puisque celle demi-circulaire, en diminuant la contraction verticale, augmente considérablement la dépense Q.

Nappes adhérentes à la face d'aval du barrage.		Nappes noyées en dessus.	
Valeurs de H.	Valeurs de k.	Valeurs de H.	Valeurs de k.
m		m	
0.08	0.464	0.18	0.578
0.09	0.483	0.19	0.574
0.10	0.498	0.20	0.570
0.11	0.510	0.21	0.567
0.12	0.519	0.22	0.565
0.13	0.528	0.23	0.563
0.14	0.532	0.24	0.562
0.15	0.549	0.25	0.561
0.16	0.562	0.26	0.561

100. *Déversoirs formés par les vannes alimentaires des roues de côté.* Ces vannes sont à peu près inclinées à 1 de base pour 3 de hauteur. Le tableau suivant donne les valeurs du coefficient k, que M. Boileau a déduites de plusieurs séries d'expériences dans lesquelles il a examiné les cas les plus ordinaires de la pratique.

VALEURS de H.	Vanne de 0m.04 à 0m.05 d'épaisseur, arrondie supérieurement en quart de cercle tangent à la face d'aval et normal à la face d'amont.		Vanne terminée supérieurement par un boudin circulaire de 0m.09 à 0m.10 de diamètre, tangent à la face d'aval et saillant sur la face d'amont, avec laquelle il se raccorde par un congé arrondi.	
	Nappes libres.	Nappes adhérentes.	Nappes libres.	Nappes adhérentes.
m				
0.05	0.393	0.434	»	»
0.06	0.393	0.448	»	»
0.07	0.396	0.465	»	»
0.08	0.408	0.465	»	»
0.09	0.422	0.481	»	0.447
0.10	0.428	0.498	0.403	0.457
0.11	0.433	0.511	0.417	0.467
0.12	0.437	0.512	0.432	0.476
0.13	0.441	0.530	0.446	0.585
0.14	0.445	0.535	0.458	0.494
0.15	0.450	»	0.468	0.502
0.16	0.453	»	0.477	0.510
0.17	0.457	»	0.486	0.517
0.18	»	»	0.494	0.524
0.19	»	»	0.502	0.530
0.20	»	»	0.508	0.535
0.21	»	»	»	0.539
0.22	»	»	»	0.542

Les valeurs de k de ce tableau montrent que l'adhérence de la nappe à la face d'aval de la vanne augmente considérablement la dépense. Aussi, à cause de la difficulté de s'assurer si la nappe est libre ou non, sera-t-il prudent, s'il s'agit d'un jaugeage rigoureux, d'établir un barrage spécial.

161. *Orifices en déversoir prolongés en dehors par un coursier horizontal ou légèrement incliné de même largeur, à l'extrémité duquel l'eau tombe librement.*

TABLEAU des valeurs de K *obtenues par M. Lesbros pour un orifice rectangulaire de* 0m.20 *de largeur.*

(*a*) Contraction complète sur le seuil et les côtés verticaux de l'orifice.
(*b*) Contraction supprimée sur le seuil, qui est dans le plan du fond du réservoir.
(*c*) Contraction supprimée sur le seuil et un des côtés verticaux.
(*d*) Contraction supprimée sur le seuil et les côtés verticaux.
(*e*) Contraction complète sur le seuil, mais supprimée sur un côté vertical.
(*f*) Contraction complète sur le seuil, et supprimée sur les deux côtés verticaux.
(*g*) Contraction complète sur le seuil, et supprimée sur les deux côtés verticaux.

Remarque 1re. Le coursier du dispositif (*g*) avait 2m.50 de longueur et il était incliné au 1/10. Tous les autres coursiers étaient horizontaux et avaient 3m.00 de longueur.

Remarque 2e. Dans les dispositifs (*c*), (*d*), (*e*), (*f*), (*g*), la contraction n'était pas supprimée complétement sur les côtés verticaux, les bords de l'orifice faisant une saillie de 0m.02 taillée en biseau à 45° sur les parois du canal et du coursier. L'influence de cette saillie ne pouvant être que faible d'après ce qui a été constatée au 4° du no 144 pour les orifices avec charge sur le sommet, et d'après les valeurs très-peu différentes

de k pour les dispositifs (a'') et (a''') du n° 155 dès que la charge H atteint $0^m.05$, on pourra la négliger dans les cas ordinaires de la pratique.

VALEURS de H.	Valeurs de k pour les dispositifs						
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
m							
0.01	»	»	»	»	0.382	0.395	0.406
0.02	0.196	0.208	0.204	0.175	0.368	0.383	0.395
0.03	0.234	0.232	0.228	0.205	0.358	0.373	0.385
0.04	0.263	0.251	0.250	0.234	0.351	0.365	0.379
0.05	0.278	0.266	0.267	0.260	0.346	0.360	0.375
0.06	0.286	0.281	0.280	0.276	0.344	0.355	0.372
0.07	0.292	0.288	0.289	0.285	0.343	0.352	0.371
0.08	0.297	0.294	0.295	0.294	0.341	0.349	0.371
0.09	0.301	0.298	0.300	0.295	0.340	0.347	0.370
0.10	0.304	0.302	0.304	0.299	0.340	0.345	0.369
0.11	0.306	0.305	0.307	0 303	0.339	0.344	0.369
0.12	0.309	0.308	0.310	0.306	0.338	0.343	0.369
0.13	0.311	0.310	0.312	0.308	0.337	0.342	0.368
0.14	0.313	0.312	0.314	0.311	0.336	0.341	0.368
0.16	0.316	0.316	0.317	0.315	0.334	0.340	0.367
0.18	0.317	0.319	0.319	0.319	0.333	0.339	0.367
0.20	0.319	0.323	0.322	0.322	0.331	0.338	0.366
0.22	0.320	0.325	0.324	0.325	0.330	0.337	0.365
0.25	0.321	0.329	0.326	0.329	0.328	0.336	0.364
0.30	0.324	0.332	0.329	0.332	0.326	0.334	0.361

162. *Pour les déversoirs formés par le barrage type de M. Boileau,* et ayant la même largeur que le canal d'arrivée (158), M. le capitaine d'artillerie Clarinval (*Annales des mines*, 1858), de la discussion des résultats obtenus par MM. Castel, Lesbros et Boileau, a conclu la formule suivante, qui donne, avec une grande approximation, les dépenses Q pour les charges ordinaires H de la pratique, et quelle que soit la hauteur du barrage au-dessus du fond du canal d'arrivée :

$$Q = LH\sqrt{2gH}\,\frac{h\sqrt{1-\frac{h}{H}}}{\sqrt{2(H^2-h^2)}} = LHh\sqrt{\frac{g}{H+h}}.$$

h épaisseur de la lame d'eau, mesurée sur l'arête intérieure même du déversoir.

La première expression de la valeur de Q n'est autre chose que celle de la formule ordinaire $Q = kLH\sqrt{2gH}$ dans laquelle le coefficient k est remplacé par sa valeur $\frac{h\sqrt{1-\frac{h}{H}}}{\sqrt{2(H^2-h^2)}}$, que M. Clarinval déduit de quelques considérations théoriques.

M. Clarinval a reconnu que sa formule est également applicable au barrage type incliné à 1 de base pour 3 de hauteur (1°, n° 159).

163. La valeur de H se détermine au moyen d'une règle mise de

niveau, ou mieux, comme l'indique M. Boileau, en plaçant verticalement un tube en verre, droit et de 5 à 6 millimètres de diamètre intérieur, de manière que son extrémité inférieure s'applique contre la face d'amont du barrage. L'eau s'élève dans le tube au niveau H, plus une petite quantité due à l'effet de la capillarité, et dont il convient de tenir compte. d étant le diamètre intérieur du tube en millimètres, cet excès, exprimé en millimètres, est $\frac{29,8}{d}$.

Une deuxième correction qu'il convient de faire, surtout quand la largeur L est faible, porte sur la diminution que le tube mis en place pendant l'expérience fait subir à cette largeur. M. Boileau a reconnu que cette correction est constante pour un même tube, et qu'elle est de 0m,021 ou 0m,013, selon que le diamètre extérieur du tube est de 0m,015 ou 0m,010.

Pour mesurer h, à une traverse solide allant d'une rive à l'autre, au-dessus de la crête du barrage et hors de l'eau, on fixe une première règle dans une position bien verticale. Contre cette règle, on en fait glisser une seconde jusqu'à ce que son extrémité, armée d'une pointe, repose sur l'arête du barrage sans y pénétrer; on la ramène complétement hors de l'eau, puis on la fait redescendre jusqu'à ce que la pointe affleure la lame fluide. Les deux positions prises par la règle mobile contre la règle fixe indiquent la valeur de h.

164. *TABLEAU des valeurs du rapport* $\frac{H}{h} = r$ *obtenues par M. Boileau pour différentes valeurs de* H *et diverses hauteurs de barrages au-dessus du fond du canal d'arrivée, les barrages, qui sont du modèle type, ayant la même largeur que le canal, et les nappes étant libres* (158).

VALEURS de H.	Rapports r pour des hauteurs de barrages de				Barrage de 0m.918 de haut.	
	0m.262	0m.325	0m.420	0m.548	H	Rapports r.
m					m	
0.03	1.339	»	«	1.285	0.063	1.200
0.04	1.282	»	1.320	1.230	0.0735	1.195
0 05	1.260	»	1.285	1.228	0.081	1.191
0 06	1.234	1.243	1.249	1.214	0.085	1.189
0.07	1.223	1.232	1.234	1.205	0.121	1.186
0.08	1.216	1.232	1.223	1.200	0.133	1.184
0.09	1.212	1 228	1.218	1.199	0.163	1.184
0.10	1.210	1.225	1.217	1.199	0.178	1.179
0.12	1.206	1.221	1.212	1.197	0.189	1.177
0.14	1.202	1.216	1.206	»	0.218	1.175
0.16	1.199	»	1.201	»	0.230	1.173
0.18	1.196	»	1.195	»	0.247	1.173
0.20	1.192	»	1.191	»	0.261	1.175
0.25	1.186	»	»	»	0.331	1.177
0.30	1.184	»	»	»	0.357	1.180
0.35	1.182	»	»	»	0.370	1.182
					[illegible]	[illegible]

Les valeurs de H divisées par les valeurs de r donneront celles correspondantes de h. Si, au contraire, h a été déterminée, si $h = 0^m,13$, par exemple, pour un barrage de $0^m,262$ de hauteur, d'après l'inspection du tableau, il y a lieu de croire r voisin de 1,202. Adoptant d'abord cette valeur, on aura $H = 0,13 \times 1,202 = 0^m,15626$. Cette valeur de H correspondant sensiblement à $r = 1,202 - (1,202 - 1,199)\frac{0,15626 - 0,14}{0,16 - 0,14} = 1,199561$, on pourra définitivement prendre $H = 0,13 \times 1,199561 = 0^m,15594293$; soit $0^m,1559$. On voit que cette correction de H est peu importante et que l'on pourra généralement la négliger dans la pratique.

Le tableau précédent montre que, pour des déversoirs de même largeur que le canal, H s'écarte peu de $1,20h$ quand H varie de $0^m,08$ à $0^m,35$. On admettait pour ces déversoirs $H = 1,25h$, et $H = 1,178h$ quand la largeur du déversoir était les 4/5 de celle du réservoir.

TABLEAU des valeurs du rapport r *quand les nappes sont noyées en-dessous* (158).

VALEURS de H.	Rapports r pour des hauteurs de barrages de		
	$0^m.325$	$0^m.335$	$0^m.420$
m 0.13	»	1.283	»
0.14	»	1.275	1.291
0.15	1.256	1.266	1.281
0.16	1.250	1.258	1.271
0.18	1.236	1.245	1.254
0.20	1.225	1.232	1.241
0.22	1.216	1.223	»
0.24	1.208	1.216	»
0.26	1.202	1.208	»
0.28	1.198	1.203	»
0.30	»	1.198	»

165. *Les barrages de rivières* construits en maçonnerie étant d'une grande épaisseur et à surface supérieure inclinée à 1/10 environ, on pourra leur appliquer les valeurs de k du dispositif (g) du n° 161.

166. *Barrages obliques.* D'après les expériences de M. Boileau, on calculera le débit d'un même barrage d'égale longueur qui serait normal au canal, et on multipliera le résultat par 0,942 ou 0,911, selon que l'obliquité sera de 45° ou de 65°.

167. *Barrages en chevrons.* Des expériences de M. Boileau, il résulte que le débit est celui d'un même barrage droit également incliné par rapport au canal d'arrivée, et dont la longueur est égale à la somme de celles des ailes du chevron, augmentée de la moitié de

la projection de la corde de l'arrondissement du saillant sur un plan perpendiculaire à l'axe du canal.

168. *Déversoirs incomplets.* Dans les canaux qui conduisent l'eau sur les roues hydrauliques et dans les canaux d'irrigation, il peut arriver que l'eau ait en aval du déversoir un niveau supérieur au seuil de ce déversoir. On peut, dans ce cas, calculer approximativement la dépense, en considérant l'orifice comme composé de deux parties : l'une supérieure au niveau de l'eau dans le canal de fuite, et qui constitue un déversoir à lame noyée en dessous (158), dont la charge H est la différence des niveaux de l'eau dans le canal d'arrivée et dans le canal de fuite; l'autre inférieure au niveau de l'eau dans le canal de fuite, et dont on calculera la dépense comme pour un orifice noyé sur les deux faces, en prenant encore pour charge la différence des niveaux en amont et en aval du déversoir (140).

M. Lesbros a examiné le cas assez ordinaire où le seuil et les côtés verticaux du déversoir sont isolés du fond et des parois du réservoir, et il a obtenu pour le débit

$$Q = kLH\sqrt{2g(H-h)}$$

h distance verticale du seuil du déversoir au-dessous du point le plus bas, c'est-à-dire de plus grande inflexion, de la surface de l'eau; ce point est à une certaine distance en aval de l'orifice, où la surface de la lame descendante rencontre la surface de l'eau dans le canal de fuite.

Les autres lettres ont les mêmes significations qu'au n° 155, et k prend les valeurs du tableau suivant :

VALEURS de $\frac{H-h}{H}$	VALEURS de k.	VALEURS de $\frac{H-h}{H}$	VALEURS de k.	VALEURS de $\frac{H-h}{H}$	VALEURS de k.
0.003	0.363	0.020	0.570	0.100	0.516
0.004	0.430	0.025	0.557	0.150	0.512
0.005	0.496	0.030	0.546	0.200	0.507
0.006	0.556	0.035	0.537	0.250	0.502
0.007	0.597	0.040	0.531	0.300	0.497
0.008	0.605	0.045	0.526	0.350	0.492
0.009	0.600	0.050	0.522	0.400	0.487
0.010	0.596	0.060	0.519	0.450	0.480
0.015	0.580	0.080	0.517	0.500	0.474

169. ***Écoulement de l'eau lorsque le niveau est variable sur une ou sur les deux faces de l'orifice d'écoulement, et que le vase qui se vide, ainsi que celui qui se remplit, ont des sections horizontales constantes en tous les points de leur profondeur.***

Ce qui va suivre s'applique principalement aux écluses des canaux de navigation.

Nous avons vu que la dépense en une seconde par un orifice est, lorsque le niveau reste constant (139),

$$Q = ksv = ks\sqrt{2gh}.$$

Le temps nécessaire pour que la dépense soit égale à la capacité de la partie de bassin située au-dessus de l'orifice est alors, pour un bassin prismatique,

$$t = \frac{Ah}{Q} = \frac{Ah}{ks\sqrt{2gh}}. \qquad (a)$$

- Q dépense par seconde;
- k coefficient de la dépense;
- s section de l'orifice d'écoulement;
- t durée de l'écoulement, en secondes;
- A section horizontale du bassin;
- h hauteur du niveau de l'eau au-dessus de l'orifice d'écoulement;
- Ah capacité de la partie de bassin située au-dessus de l'orifice d'écoulement, ou dépense pour le temps t.

Lorsque le vase se vide sans qu'il reçoive de liquide, la durée t de la vidange de la partie supérieure à l'orifice est double de ce qu'elle est, pour la même dépense, lorsque le niveau de l'eau reste constant; ainsi, pour le cas de la formule (a), on a

$$t' = 2t = \frac{2Ah}{ks\sqrt{2gh}} = \frac{2A}{ks\sqrt{2g}}\sqrt{h}. \qquad (b)$$

Le temps que met le niveau pour descendre d'une quantité $h—h'$ est

$$T = \frac{2A}{ks\sqrt{2g}}(\sqrt{h} - \sqrt{h'}) \qquad (c)$$

- T durée de l'écoulement, en secondes,
- h charge sur l'orifice au commencement du temps T;
- h' charge sur l'orifice après le temps T.

Si l'on suppose $h' = 0$ dans la formule précédente, c'est-à-dire que le niveau baisse de toute la hauteur h, on obtient, comme cela devait avoir lieu, l'expression (b); ainsi on a

$$T = \frac{2A}{ks\sqrt{2g}}\sqrt{h} = t'.$$

De la formule (c) on tire, pour le temps d'écoulement T, l'abaissement de niveau

$$h - h' = \frac{Tks\sqrt{2g}}{A}\left(\sqrt{h} - \frac{Tks\sqrt{2g}}{4A}\right). \qquad (d)$$

La dépense Q', pour le temps T, est donc

$$Q' = (h - h')A = Tks\sqrt{2g}\left(\sqrt{h} - \frac{Tks\sqrt{2g}}{4A}\right). \qquad (e)$$

Lorsque l'orifice d'écoulement est noyé sur les deux faces, les niveaux restant constants, la dépense est la même que pour l'écoulement à l'air libre, sous une charge égale à la différence $h - h'$ des charges sur les deux faces de l'orifice ; ainsi on a, en représentant par Q la dépense par seconde,

$$Q = ks\sqrt{2g(h-h')}. \qquad \text{(136 et suivants.)}$$

Supposant que le niveau reste constant dans le bassin supérieur, et que le bassin inférieur ne perde pas d'eau, le temps qu'il faudra pour que le niveau s'établisse dans les deux bassins sera égal au temps (*b*), nécessaire pour la vidange à l'air libre du bassin qui se remplit, placé dans les mêmes circonstances de charges ; ainsi on aura

$$t' = \frac{2A}{ks\sqrt{2g}}\sqrt{h}.$$

t' temps nécessaire à l'établissement du niveau ;
A section horizontale du bassin qui se remplit ;
h différence de niveau du liquide dans les deux bassins au commencement du temps t'.

Le temps nécessaire pour que le niveau s'élève d'une quantité $h - h'$ est aussi égal au temps (*c*), nécessaire pour un abaissement de niveau égal à cette élévation si le bassin se vidait dans les mêmes circonstances de charges ; ainsi on a

$$T = \frac{2A}{ks\sqrt{2g}}(\sqrt{h} - \sqrt{h'}).$$

T temps que met le niveau à s'élever de la quantité $h - h'$;
h différence de niveau du liquide dans les deux vases au commencement du temps T ;
h' différence de niveau du liquide dans les deux vases à la fin du temps T.

La valeur de $h - h'$ est encore égale à celle fournie par la formule (*d*), et la dépense est aussi égale à celle donnée par la formule (*e*).

Si l'on suppose que l'orifice d'écoulement étant noyé sur les deux faces, le niveau soit variable dans les deux bassins, c'est-à-dire que l'un des bassins se vide pour remplir l'autre, comme cela a lieu pour deux sas contigus dans un canal de navigation, le temps nécessaire pour que le niveau s'établisse dans les deux bassins est

$$T = \frac{2AB\sqrt{h-h'}}{ks\sqrt{2g}(A+B)}.$$

T durée de l'établissement du niveau ;
$h - h'$ différence de niveau du liquide dans les deux bassins quand on ouvre la vanne ;
A et B sections horizontales des deux bassins.

Cette formule fait voir que T est le même pour une égale valeur de $h - h'$, que A soit la section du bassin qui se vide, et B celle de celui

qui se remplit, ou que B soit la section du premier et A celle du second.

Il peut encore arriver que l'orifice d'écoulement ne soit noyé sur les deux faces que pendant une partie du temps de remplissage. Alors, pour avoir ce temps, on le divise en deux parties : l'une correspondant au remplissage de la portion de bassin inférieure à l'orifice d'écoulement, et que l'on calcule facilement d'après ce qui vient d'être dit, soit que le bassin supérieur se vide ou conserve un niveau constant ; l'autre correspondant au remplissage de la portion de bassin supérieure à l'orifice d'écoulement, et que l'on calcule encore facilement, soit que le bassin supérieur se vide ou conserve un niveau constant.

170. M. Darcy, pour jauger la source du Rosoir (*Fontaines publiques de la ville de Dijon*, par M. Darcy), s'est servi d'un barrage en planches, et, afin que l'orifice fût à mince paroi, tout le contour était garni, du côté d'amont, de feuilles de fer-blanc appliquées contre les planches, qu'elles dépassaient de 3 à 4 centimètres.

M. Darcy a opéré d'abord sur un orifice complétement noyé du côté d'amont, puis sur un orifice en déversoir, en élevant la planche supérieure jusqu'au-dessus du niveau de l'eau. Dans le premier cas, la dépense théorique a été calculée au moyen de la formule

$$Q' = \frac{2}{3}\, l \sqrt{2g}\left(h_1\sqrt{h_1} - h\sqrt{h}\right),$$

et pour avoir la dépense effective Q, on a multiplié Q′ par le coefficient de contraction 0,62. Cette formule donne très-sensiblement les mêmes résultats que celle du n° 139.

l largeur de l'orifice ; elle est sensiblement restée constante et égale à $0^m,535$;
h_1 charge sur l'arête inférieure de l'orifice ; elle a varié de $0^m,448$ à $0^m,375$;
h charge sur l'arête supérieure de l'orifice ; elle a été de $0^m,0825$ et $0^m,335$ pour les valeurs extrêmes précédentes de h_1.

Lorsque l'orifice était en déversoir, la dépense théorique était calculée par la formule

$$Q' = lH\sqrt{2gH} = 4,4292\, lH\sqrt{H},$$

et la dépense effective Q s'obtenait en multipliant Q′ par le coefficient de contraction 0,40, trouvé par MM. Poncelet et Lesbros, pour des orifices dont les parois sont tout à fait minces, et non d'une épaisseur de $0^m,03$ (155). Ainsi on avait

$$Q = 1,77\, lH\sqrt{H}.$$

l largeur du déversoir ;
H charge d'eau sur le seuil du déversoir, mesurée à quelque distance en amont de celui-ci.

TABLEAU calculé par M. de Saint-Venant avec les formules précédentes prises avec le plus d'exactitude (Annales des mines, 4e série, t. XX).

EXPÉRIMENTATEURS.	VALEURS de RI.	VITESSES observées.	VITESSES de Prony.	VITESSES Eytelwein.	VITESSES Saint-Venant.
Dubuat.	0.000 008 0	0.124	0.104	0.118	0.129
Id.	0.000 012 8	0.154	0.144	0.157	0.165
Id.	0.000 018 5	0.161	0.179	0.194	0.200
Id.	0.000 021 4	0.172	0.201	0.211	0.215
Id.	0.000 028 6	0.212	0.241	0.249	0.251
Id.	0.000 023 9	0.242	0.216	0.225	0.228
Id.	0.000 031 6	0.249	0.256	0.263	0.264
Id.	0.000 031 7	0.263	0.256	0.263	0.265
Woltmann.	0.000 036 1	0.281	0.277	0.282	0.283
Id.	0.000 039 7	0.284	0.293	0.298	0.298
Dubuat.	0.000 044 6	0.301	0.315	0.318	0.317
Woltmann	0.000 044 3	0.320	0.313	0.316	0.315
Dubuat.	0.000 042 7	0.327	0.306	0.310	0.309
Id.	0.000 035 2	0.334	0.273	0.279	0.279
Id.	0.000 051 3	0.348	0.341	0.343	0.341
Id.	0.000 049 6	0.353	0.336	0.337	0.335
Id.	0.000 047 3	0.367	0.326	0.329	0.326
Id.	0.000 056 9	0.384	0.360	0.360	0.357
Id.	0.000 069 5	0.421	0.401	0.404	0.399
Woltmann	0.000 065 0	0.430	0.392	0.390	0.386
Dubuat.	0.000 112 6	0.495	0.536	0.523	0.514
Id.	0.000 095 9	0.548	0.490	0.480	0.473
Id.	0.000 137 6	0.549	0.599	0.584	0.574
Id.	0.000 156 0	0.606	0.644	0.623	0.612
Funk (en petit).	0.000 315 7	0.633	0.940	0.896	0.882
Dubuat.	0.000 166 4	0.637	0.665	0.642	0.634
Bonati	0.000 161 3	0.687	0.654	0.632	0.624
Dubuat.	0.000 240 8	0.735	0.757	0.727	0.714
Bonati	0.000 328 3	0.736	0.790	0.758	0.745
Dubuat.	0.000 184 1	0.745	0.703	0.677	0.665
Id.	0.000 187 0	0.766	0.709	0.683	0.671
Brünings.	0.000 254 8	0.771	0.838	0.802	0.789
Dubuat.	0.000 221 2	0.772	0.777	0.745	0.732
Funk.	0.000 308 3	0.772	0.930	0.885	0.872
Dubuat.	0.000 247 6	0.776	0.826	0.791	0.777
Id.	0.000 249 0	0.783	0.773	0.742	0.728
Id.	0.000 241 2	0.816	0.814	0.780	0.766
Id.	0.000 252 2	0.863	0.834	0.798	0.784
Id.	0.000 256 6	0.880	0.842	0.806	0.792
Brünings.	0.000 330 4	0.917	0.964	0.923	0.904
Id.	0.000 419 1	0.948	1.094	1.038	1.000
Id.	0.000 392 9	0.938	1.058	1.004	0.989
Id.	0.000 403 5	0.975	1.052	1.019	1.003
Funk.	0.000 421 5	1.011	1.074	1.036	1.027
Id.	0.000 690 1	1.035	1.423	1.341	1.329
Brünings.	0.000 446 6	1.039	1.061	1.034	1.020
Funk.	0.000 660 9	1.057	1.392	1.312	1.299
Brünings.	0.000 395 6	1.092	1.041	1.007	0.993
École romaine.	0.000 372 5	1.115	1.028	0.977	0.962

EXPÉRIMENTATEURS.	VALEURS de RI.	VITESSES			
		observées.	de Prony.	Eytelwein.	Saint-Venant.
Brünings.	0.000 580 9	1.122	1.300	1.228	1.214
École romaine.	0.000 462 7	1.116	1.156	1.095	1.080
Brünings.	0.000 564 2	1.210	1.280	1.210	1.196
Id.	0.000 464 8	1.218	1.130	1.094	1.080
Id.	0.000 579 0	1.225	1.292	1.225	1.212
Funk.	0.000 847 5	1.226	1.557	1.463	1.435
Id.	0.000 747 4	1.289	1.453	1.368	1.356
Bonati.	0.000 705 2	1.269	1.440	1.356	1.344
Brünings.	0.000 358 6	1.274	1.006	0.957	0.942
Id.	0.000 446 9	1.293	1.102	1.073	1.058
Id.	0.000 650 7	1.299	1.380	1.302	1.289
Id.	0.000 655 9	1.304	1.386	1.306	1.294
Funk.	0.000 759 0	1.327	1.496	1.408	1.397
Bidone.	0.000 706 6	1.366	1.442	1.358	1.345
Funk.	0.000 774 9	1.417	1.513	1.423	1.445
Id.	0.000 800 0	1.450	1.542	1.446	1.436
Id.	0.000 757 5	1.467	1.494	1.407	1.394
Brünings.	0.000 837 4	1.474	1.575	1.484	1.474
Funk.	0.000 942 2	1.490	1.675	1.572	1.564
Id.	0.000 718 2	1.502	1.414	1.369	1.357
Id.	0.000 850 8	1.506	1.588	1.493	1.483
Id.	0.001 133 5	1.509	1.844	1.728	1.723
Id.	0.000 956 8	1.575	1.682	1.585	1.577
Bidone.	0.000 934 3	1.586	1.663	1.566	1.557
Funk.	0.000 918 1	1.597	1.652	1.552	1.543
Id.	0.001 023 0	1.600	1.442	1.640	1.633
Id.	0.000 948 1	1.608	1.680	1.576	1.569
Id.	0.001 244 5	1.626	1.935	1.812	1.810
Id.	0.000 963 1	1.663	1.694	1.590	1.582
Bidone.	0.001 084 9	1.692	1.802	1.690	1.684
Funk.	0.001 074 5	1.735	1.793	1.681	1.676
Id.	0.001 164 7	1.757	1.870	1.752	1.748
Id.	0.001 248 9	1.820	1.938	1.815	1.813
Id.	0.001 324 0	1.869	1.996	1.868	1.866
Id.	0.001 498 0	1.919	2.130	1.994	1.994
Id.	0.001 561 3	1.993	2.176	2.034	2.038
Id.	0.001 604 0	2.008	2.206	2.062	2.067
Id.	0.001 629 7	2.036	2.224	2.078	2.080
Id.	0.001 570 0	2.040	2.182	2.039	2.043
Id.	0.001 639 3	2.101	2.232	2.085	2.091
Id.	0.001 730 9	2.119	2.205	2 141	2.151
Id.	0.001 962 6	2.294	2.442	2.284	2.298
Id.	0 002 238 9	2.409	2.614	2.442	2.462
Id.	0.002 164 2	2.446	2.574	2.400	2.418

172. *Relation entre la vitesse moyenne, la vitesse maximum à la surface et la vitesse au fond d'un cours d'eau.* Des expériences de Dubuat (171), de Prony a conclu la formule

$$\frac{v}{V}=\frac{V+2,37187}{V+3,15312},\quad \text{soit}\quad \frac{v}{V}=\frac{V+2.37}{V+3.15}. \qquad (a)$$

v vitesse moyenne (171);

V vitesse à la surface, prise au point où se trouve le fil de l'eau, c'est-à-dire au point où elle est la plus grande; cette vitesse maximum correspond généralement à la plus grande profondeur de l'eau.

De cette formule, on conclut pour :

$V = 0^m,05$	$0^m,10$	$0^m,50$	$1^m,00$	$1^m,50$	$2^m,00$	$2^m,50$	$3^m,00$	$3^m,50$	$4^m,00$,
$\frac{v}{V} = 0,756$	$0,760$	$0,786$	$0,812$	$0,832$	$0,848$	$0,862$	$0,873$	$0,883$	$0,891$.

Dans la pratique, pour des vitesses à la surface comprises entre $0^m,20$ et $1^m,50$, on peut supposer $v = \frac{4}{5} V = 0,80V$, ou $V = 1,25v$.

La formule précédente donne pour v des valeurs trop considérables lorsqu'il s'agit de grands cours d'eau; ainsi, des expériences directes faites sur la Seine ont donné $v = 0,62V$, et d'autres exécutées par M. Raucourt sur la Newa ont fourni $v = 0,75V$.

Le *filet doué de la vitesse moyenne* a été habituellement trouvé un peu au-dessous de la moitié, vers les 3/5, de la profondeur.

Des ingénieurs allemands ont trouvé que le rapport entre la vitesse moyenne de tous les filets rencontrés par une même verticale et la vitesse à la partie supérieure de la verticale variait de 0,88 à 0,90; des expériences faites sur le Rhin, par M. Defontaine, ont donné moyennement 0,88 pour ce rapport.

Dubuat a conclu de ses expériences (171) que l'on avait, en représentant par U la vitesse au fond d'un canal,

$$U = 2v - V; \qquad (b)$$

d'où l'on tire, en faisant $V = 1,25v$,

$$U = 0,75v, \quad \text{ou} \quad v = 1,33U.$$

Pour l'établissement d'un canal, on se donnera la vitesse U, telle que les parois ne soient pas dégradées; on en conclura la vitesse moyenne v qu'il ne faudra pas dépasser, et, à l'aide de l'une des formules du n° 171, on déterminera les quantités qui sont encore inconnues.

TABLEAU des valeurs de U auxquelles le fond des canaux commence à être entraîné, pour différentes natures de sols.

	m
Terres détrempées, brunes.	0,076
Argiles tendres.	0,152
Sables.	0,305
Graviers.	0,609
Cailloux.	0,614
Pierres cassées, silex.	1,220
Cailloux agglomérés ou poudings, schistes tendres. . . .	1,520
Roches en couches.	1,830
Roches dures.	3,050

Pour un *canal de navigation*, afin de rendre autant que possible la résistance au mouvement des bateaux la même dans les deux sens, il convient que la vitesse de l'eau soit très-faible; mais si le canal alimente la distribution d'eau de quelques villes, la vitesse doit être suffisamment grande, afin d'éviter la décomposition des matières végétales; ainsi les eaux du canal de l'Ourcq ont une vitesse $v = 0^m,30$ dans l'arrondissement de Meaux, et $v = 0^m,25$ dans celui de Paris. La pente pour obtenir ces vitesses est donnée par la formule (*b*) ou (*b'*) du n° 171; mais il convient ordinairement de l'augmenter un peu pour tenir compte de l'influence retardatrice des herbes qui croissent dans les canaux.

Pour un *canal d'usine*, afin de ménager la chute, on doit rendre la pente aussi petite que possible; mais telle cependant qu'il ne se forme pas de dépôts. Si dans les faibles crues la rivière charrie des limons ou des sables légers, il convient que la vitesse v soit de $0^m,20$ à $0^m,26$ dans le premier cas et de 0^m40 dans le second. Dans les conditions ordinaires v varie de $0^m,25$ à $0^m,30$, et U de $0^m,19$ à $0^m,23$, si toutefois le sol peut résister à ces vitesses.

Pour les *canaux et rigoles d'irrigation*, si les eaux sont toujours claires, on adopte de préférence des pentes très-faibles de 3 à 4 millimètres par mètre. Si les eaux sont limoneuses, fertilisantes, comme dans certaines contrées du Midi et de la Meuse, il convient, au lieu de les laisser déposer dans les rigoles, qui seraient bientôt obstruées, de les répandre autant que possible sur toute la surface des prés, et on adopte habituellement une pente de 5 à 6 millimètres que l'on a parfois portée à 9 millimètres. Enfin si les eaux entraînent habituellement des sables fins, comme dans les vallées voisines des Vosges, avec une forte pente ces sables sont entraînés par les rigoles et déposés sur les prés, et si la pente est faible, comme ils ne sont entraînés que quand la vitesse de l'eau est de $0^m,305$ environ, ils obstruent promptement les canaux; ce dernier inconvénient étant le moins grave, il y a lieu d'adopter une pente de 6 à 8 mill., et de curer les canaux et les rigoles quand cela est nécessaire.

Lorsqu'un canal est tapissé de joncs, v paraît s'abaisser de 0,80V à 0,60V au plus. Le tableau suivant contient les valeurs de RI et de V observées par Dubuat sur le canal du Jard, près Condé, avant et après le faucardement des joncs. On y a ajouté les valeurs de v tirées de la formule (*b'*) du n° 171, ainsi que celles du rapport $\frac{v}{V}$; c'est par ce rapport, et non par 0,60 ou même 0,80 que l'on devra multiplier la vitesse observée V pour avoir la valeur de v à introduire dans la formule (*b'*) pour en conclure la valeur de RI.

	JONCS NON COUPÉS.		JONCS COUPÉS.			
RI =	0.0004226	0.0000868	0.0000185	0.0000286	0.0000214	0.0000543
V =	0.472 m	0.329 m	0.197 m	0.260 m	0.214 m	0.426 m
v =	0.557	0.457	0.217	0.232	0.194	0.335
$\frac{v}{V}$ =	1.180	1.389	1.101	0.892	0.905	0.786

173. *Jeaugeage des rivières.* La formule de Prony (*b*) ou (*b'*) du n° 171 peut servir à jauger non-seulement un cours d'eau à section constante et à pente uniforme sur toute sa longueur, mais aussi un cours d'eau quelconque, pourvu que l'on puisse trouver sur son parcours une certaine longueur, 400 mètres si c'est possible, dont la section soit constante et la pente uniforme. Un profil en travers donne la section transversale du cours d'eau et le périmètre mouillé, et divisant la section par le périmètre, on a le rayon moyen R; un nivellement donne la pente totale de la partie régulière du cours d'eau, et cette pente, divisée par la longueur du développement de l'axe de cette partie régulière, donne la pente I par mètre. Substituant R et I dans la formule (*b*) ou (*b'*), on en conclut la vitesse v, laquelle, multipliée par la section transversale fournie par le profil, donne la dépense.

Si la section du cours d'eau n'est pas tout à fait constante, ce qui arrive souvent pour les cours d'eau naturels, sur la longueur à peu près régulière considérée, on fait un certain nombre de profils en travers du cours d'eau, ce qui donne le même nombre de sections, dont on prend la moyenne en divisant leur somme par leur nombre; on prend également la moyenne des périmètres mouillés, aussi donnés par les profils, et divisant la section moyenne par le périmètre moyen, on a le rayon moyen R. On détermine ensuite la pente I, puis la vitesse moyenne v et la dépense comme dans le cas précédent.

Si le profil en travers d'un cours d'eau présentait une grande profondeur sur une certaine étendue, et s'étendait loin avec une très-faible profondeur, pour appliquer la formule de Prony, il conviendrait de considérer le cours d'eau comme formé de deux, l'un correspondant à la partie profonde, et l'autre à la partie de faible profondeur; par là, chaque profil partiel serait convexe, et on rentrerait dans les cas qui ont servi à l'établissement de la formule de Prony.

On peut encore jauger une rivière en déterminant directement la vitesse maximum à la surface. On jette dans le fil de l'eau un flotteur cylindrique en bois de chêne, qui s'immerge presque complétement; on compte, à l'aide d'une montre à secondes, le temps que met le flotteur pour parcourir une certaine distance, que l'on a encore eu soin de prendre la plus grande possible et au point où le cours d'eau est le plus

régulier, et divisant l'espace par le temps, on a la vitesse. On a soin de répéter une dizaine de fois l'expérience, et en prenant la moyenne des vitesses trouvées dans toutes les expériences, on obtient une vitesse que l'on peut considérer comme étant la vitesse à la surface, laquelle, multipliée par 0,8 donne la vitesse moyenne (172). On détermine ensuite la section du cours d'eau par un simple profil, si la partie parcourue par le flotteur a partout la même section, ou par un certain nombre, comme il a déjà été indiqué dans ce numéro, si la section n'est pas tout à fait constante, et la vitesse moyenne, multipliée par la section, donne la dépense. On a soin de jeter le flotteur dans le courant un peu au-dessus du point duquel on commence à compter le temps, afin que quand il arrive à ce point, il possède déjà la vitesse du courant: Au lieu d'un seul flotteur, on peut en jeter plusieurs à la fois dans le courant; mais il convient encore, malgré cela, de répéter un certain nombre de fois l'expérience.

Il est évident qu'au lieu d'employer la formule de Prony pour jauger un cours d'eau, on peut faire usage de celle d'Eytelwein ou de celle de M. de Saint-Venant (171).

174. *Mouvement de l'eau dans un canal rectangulaire à surface lisse ou enduit en ciment de Pouilly.* Les eaux de la source du Rosoir sont amenées à Dijon à l'aide d'un aqueduc en maçonnerie, voûté en plein cintre, qui a 0m,90 sous clef et 0m,60 de largeur. Cette largeur est réduite à 0m,54 par un enduit en ciment de Pouilly, qui s'élève jusqu'au-dessus du niveau de l'eau. Le fond est tout à fait plat (170). En amenant les eaux dans le réservoir de la porte Guillaume, on a pu mesurer avec une grande exactitude les volumes 0m,0874, 0m.0669, 0m,0446 et 0m,0236 écoulés par seconde dans les diverses expériences, et à l'aide d'un flotteur, que l'on observait par des regards disposés de 100 en 100 mètres, on a pu mesurer la vitesse maximum. Des résultats obtenus, M. Darcy a déduit les formules suivantes, qui établissent les relations entre les vitesses, la pente et les dimensions de la section de la veine fluide :

1° $$\left(0{,}000\,25 + \frac{0{,}000\,0147}{H}\right)v^2 = \frac{LH}{L+2H} \times I,$$

2° $$\left(0{,}000\,4751 + \frac{0{,}000\,00575}{H}\right)V^2 = \frac{LH}{L+2H} \times I.$$

v vitesse moyenne de l'eau dans l'aqueduc ;
V vitesse maximum à la surface ;
I pente par mètre ;
H profondeur de l'eau ;
L largeur uniforme de la veine fluide.

Dans la presque totalité des cas, H a une valeur assez grande pour qu'on puisse négliger les seconds termes entre parenthèses dans les formules précédentes, qui deviennent alors

VITESSES moyennes v.	VALEURS CORRESPONDANTES de RI dans les canaux.		de $\frac{1}{4}$ DI dans les tuyaux.	VITESSES moyennes v.	VALEURS CORRESPONDANTES de RI dans les canaux.		de … dans le…
	EYTELWEIN.	DE PRONY.	DE PRONY.		EYTELWEIN.	DE PRONY.	DE …
m.				m			
0.01	0.000 000 3	0.000 000 5	0.000 000 2	0.51	0.000 107 5	0.000 103 1	0.000
0.02	0.000 000 6	0.000 001 0	0.000 000 5	0.52	0.000 111 5	0.000 106 8	0.000
0.03	0.000 001 1	0.000 001 6	0.000 000 8	0.53	0.000 115 5	0.000 110 4	0.000
0.04	0.000 001 6	0.000 002 3	0.000 001 3	0.54	0.000 119 7	0.000 114 2	0.000
0.05	0.000 002 1	0.000 003 0	0.000 001 7	0.55	0.000 123 9	0.000 118 0	0.000
0.06	0.000 002 8	0.000 003 8	0.000 002 3	0.56	0.000 128 2	0.000 121 9	0.000
0.07	0.000 003 5	0.000 004 6	0.000 002 9	0.57	0.000 132 6	0.000 125 8	0.000
0.08	0.000 004 3	0.000 005 5	0.000 003 6	0.58	0.000 137 0	0.000 129 8	0.000
0.09	0.000 005 1	0.000 006 5	0.000 004 4	0.59	0.000 141 6	0.000 133 9	0.000
0.10	0.000 006 0	0.000 007 5	0.000 005 2	0.60	0.000 146 1	0.000 138 0	0.000
0.11	0.000 007 1	0.000 008 6	0.000 006 1	0.61	0.000 150 8	0.000 142 2	0.000
0.12	0.000 008 2	0.000 009 8	0.000 007 1	0.62	0.000 155 6	0.000 146 5	0.000
0.13	0.000 009 3	0.000 011 0	0.000 008 1	0.63	0.000 160 4	0.000 150 8	0.000
0.14	0.000 010 6	0.000 012 3	0.000 009 3	0.64	0.000 165 3	0.000 155 1	0.000
0.15	0.000 011 9	0.000 013 6	0.000 010 4	0.65	0.000 170 2	0.000 159 6	0.000
0.16	0.000 013 2	0.000 015 0	0.000 011 7	0.66	0.000 175 3	0.000 164 1	0.000
0.17	0.000 014 7	0.000 016 5	0.000 013 0	0.67	0.000 180 3	0.000 168 6	0.000
0.18	0.000 016 2	0.000 018 0	0.000 014 4	0.68	0.000 185 5	0.000 173 3	0.000
0.19	0.000 017 8	0.000 019 6	0.000 015 9	0.69	0.000 190 8	0.000 177 9	0.000
0.20	0.000 019 5	0.000 021 3	0.000 017 4	0.70	0.000 196 1	0.000 182 7	0.000
0.21	0.000 021 2	0.000 023 0	0.000 019 0	0.71	0.000 201 5	0.000 187 5	0.000
0.22	0.000 023 0	0.000 024 7	0.000 020 7	0.72	0.000 207 0	0.000 192 4	0.000
0.23	0.000 024 9	0.000 026 6	0.000 022 4	0.73	0.000 212 5	0.000 197 3	0.000
0.24	0.000 026 9	0.000 028 5	0.000 024 2	0.74	0.000 218 1	0.000 202 3	0.000
0.25	0.000 028 9	0.000 030 4	0.000 026 1	0.75	0.000 223 8	0.000 207 3	0.000
0.26	0.000 031 0	0.000 032 5	0.000 028 0	0.76	0.000 229 6	0.000 212 4	0.000
0.27	0.000 033 2	0.000 034 6	0.000 030 1	0.77	0.000 235 4	0.000 217 6	0.000
0.28	0.000 035 4	0.000 036 7	0.000 032 2	0.78	0.000 241 3	0.000 222 9	0.000
0.29	0.000 037 8	0.000 038 9	0.000 034 3	0.79	0.000 247 3	0.000 228 2	0.000
0.30	0.000 040 2	0.000 041 2	0.000 036 5	0.80	0.000 253 4	0.000 233 5	0.000
0.31	0.000 042 5	0.000 043 5	0.000 038 8	0.81	0.000 259 5	0.000 238 9	0.000
0.32	0.000 045 2	0.000 045 9	0.000 041 2	0.82	0.000 265 7	0.000 244 4	0.000
0.33	0.000 047 8	0.000 048 4	0.000 043 6	0.83	0.000 272 0	0.000 250 0	0.000
0.34	0.000 050 5	0.000 050 9	0.000 046 2	0.84	0.000 278 3	0.000 255 6	0.000
0.35	0.000 053 3	0.000 053 4	0.000 048 7	0.85	0.000 284 7	0.000 261 3	0.000
0.36	0.000 056 1	0.000 056 1	0.000 051 4	0.86	0.000 291 2	0.000 267 0	0.000
0.37	0.000 059 0	0.000 058 8	0.000 054 1	0.87	0.000 297 8	0.000 272 8	0.000
0.38	0.000 062 0	0.000 061 6	0.000 056 9	0.88	0.000 304 4	0.000 278 6	0.000
0.39	0.000 065 1	0.000 064 4	0.000 059 7	0.89	0.000 311 1	0.000 284 6	0.000
0.40	0.000 068 2	0.000 067 3	0.000 062 7	0.90	0.000 317 9	0.000 290 6	0.000
0.41	0.000 071 4	0.000 070 2	0.000 065 6	0.91	0.000 324 8	0.000 296 6	0.000
0.42	0.000 074 7	0.000 073 2	0.000 068 7	0.92	0.000 331 7	0.000 302 7	0.000
0.43	0.000 078 0	0.000 076 3	0.000 071 8	0.93	0.000 338 7	0.000 308 9	0.000
0.44	0.000 081 4	0.000 079 4	0.000 075 0	0.94	0.000 345 8	0.000 315 1	0.000
0.45	0.000 084 9	0.000 082 6	0.000 078 3	0.95	0.000 353 0	0.000 321 4	0.000
0.46	0.000 088 5	0.000 085 9	0.000 081 7	0.96	0.000 360 2	0.000 327 7	0.000
0.47	0.000 092 2	0.000 089 2	0.000 085 1	0.97	0.000 367 5	0.000 334 2	0.000
0.48	0.000 095 9	0.000 092 6	0.000 088 6	0.98	0.000 374 9	0.000 340 6	0.000
0.49	0.000 099 7	0.000 096 0	0.000 092 1	0.99	0.000 382 3	0.000 347 2	0.000
0.50	0.000 103 5	0.000 099 6	0.000 095 7	1.00	0.000 389 8	0.000 353 8	0.000

Valeurs correspondantes			Vitesses moyennes v.	Valeurs correspondantes		
de RI dans les canaux.		de $\frac{1}{4}$ DJ dans les tuyaux.		de RI dans les canaux.		de $\frac{1}{4}$ DJ dans les tuyaux.
Eytelwein.	de Prony.	de Prony.	m	Eytelwein.	de Prony.	de Prony.
0.000 397 4	0.000 360 4	0.000 372 8	1.51	0.000 870 1	0.000 772 4	0.000 820 2
0.000 405 1	0.000 367 2	0.000 380 0	1.52	0.000 881 4	0.000 782 2	0.000 831 0
0.000 412 8	0.000 373 9	0.000 387 3	1.53	0.000 892 8	0.000 792 1	0.000 841 8
0.000 420 6	0.000 380 8	0.000 394 7	1.54	0.000 904 3	0.000 802 0	0.000 852 6
0.000 428 6	0.000 387 7	0.000 402 2	1.55	0.000 915 8	0.000 812 0	0.000 863 6
0.000 436 4	0.000 394 7	0.000 409 7	1.56	0.000 927 4	0.000 822 1	0.000 874 6
0.000 444 5	0.000 401 7	0.000 417 3	1.57	0.000 939 1	0.000 832 2	0.000 885 6
0.000 452 6	0.000 408 8	0.000 424 9	1.58	0.000 950 9	0.000 842 4	0.000 896 8
0.000 460 7	0.000 415 9	0.000 432 7	1.59	0.000 962 7	0.000 852 7	0.000 908 0
0.000 469 0	0.000 423 2	0.000 440 5	1.60	0.000 974 6	0.000 863 0	0.000 919 3
0.000 477 3	0.000 430 4	0.000 448 3	1.61	0.000 986 6	0.000 873 3	0.000 930 6
0.000 485 7	0.000 437 8	0.000 456 3	1.62	0.000 998 6	0.000 883 8	0.000 942 0
0.000 494 2	0.000 445 2	0.000 464 3	1.63	0.001 010 8	0.000 894 3	0.000 953 5
0.000 502 7	0.000 452 7	0.000 472 4	1.64	0.001 023 0	0.000 904 8	0.000 965 1
0.000 511 3	0.000 460 2	0.000 480 5	1.65	0.001 035 2	0.000 915 5	0.000 976 7
0.000 520 0	0.000 467 8	0.000 488 7	1.66	0.001 047 6	0.000 926 1	0.000 988 4
0.000 528 8	0.000 475 4	0.000 497 0	1.67	0.001 059 9	0.000 936 9	0.001 000 2
0.000 537 6	0.000 483 1	0.000 505 4	1.68	0.001 072 5	0.000 947 7	0.001 012 0
0.000 546 5	0.000 490 9	0.000 513 8	1.69	0.001 085 0	0.000 958 6	0.001 024 0
0.000 555 5	0.000 498 8	0.000 522 3	1.70	0.001 097 7	0.000 969 5	0.001 035 9
0.000 564 6	0.000 506 7	0.000 530 9	1.71	0.001 110 4	0.000 980 5	0.001 048 0
0.000 573 7	0.000 514 6	0.000 539 5	1.72	0.001 123 1	0.000 991 5	0.001 060 1
0.000 582 9	0.000 522 6	0.000 548 2	1.73	0.001 136 0	0.001 002 6	0.001 072 3
0.000 592 1	0.000 530 7	0.000 557 0	1.74	0.001 148 9	0.001 013 8	0.001 084 5
0.000 601 5	0.000 538 9	0.000 565 8	1.75	0.001 162 0	0.001 025 1	0.001 096 9
0.000 610 9	0.000 547 1	0.000 574 7	1.76	0.001 175 0	0.001 036 4	0.001 109 3
0.000 620 5	0.000 555 3	0.000 583 7	1.77	0.001 188 1	0.001 047 7	0.001 121 7
0.000 630 0	0.000 563 7	0.000 592 8	1.78	0.001 201 4	0.001 059 2	0.001 134 3
0.000 639 6	0.000 572 1	0.000 601 9	1.79	0.001 214 6	0.001 070 6	0.001 146 9
0.000 649 3	0.000 580 5	0.000 611 1	1.80	0.001 228 1	0.001 082 2	0.001 159 6
0.000 659 1	0.000 589 0	0.000 620 4	1.81	0.001 241 4	0.001 093 8	0.001 172 3
0.000 669 0	0.000 597 6	0.000 629 7	1.82	0.001 255 1	0.001 105 5	0.001 185 1
0.000 678 9	0.000 606 3	0.000 639 1	1.83	0.001 268 6	0.001 117 2	0.001 198 0
0.000 688 9	0.000 615 0	0.000 648 6	1.84	0.001 282 2	0.001 129 0	0.001 211 0
0.000 699 0	0.000 623 7	0.000 658 1	1.85	0.001 296 0	0.001 140 9	0.001 224 0
0.000 709 1	0.000 632 6	0.000 667 7	1.86	0.001 309 7	0.001 152 8	0.001 237 1
0.000 719 3	0.000 641 4	0.000 677 4	1.87	0.001 323 7	0.001 164 8	0.001 250 2
0.000 729 6	0.000 650 4	0.000 687 1	1.88	0.001 337 5	0.001 176 8	0.001 263 5
0.000 740 0	0.000 659 4	0.000 697 0	1.89	0.001 351 6	0.001 188 9	0.001 276 8
0.000 750 4	0.000 668 5	0.000 706 9	1.90	0.001 365 7	0.001 201 1	0.001 290 1
0.000 760 9	0.000 677 6	0.000 716 8	1.91	0.001 379 8	0.001 213 3	0.001 303 6
0.000 771 5	0.000 686 8	0.000 726 8	1.92	0.001 394 1	0.001 225 6	0.001 317 1
0.000 762 2	0.000 696 1	0.000 736 9	1.93	0.001 408 4	0.001 238 0	0.001 330 7
0.000 792 9	0.000 705 4	0.000 747 1	1.94	0.001 422 8	0.001 250 4	0.001 344 3
0.000 803 7	0.000 714 8	0.000 757 3	1.95	0.001 437 3	0.001 262 8	0.001 358 1
0.000 814 6	0.000 724 2	0.000 767 7	1.96	0.001 451 9	0.001 275 4	0.001 371 8
0.000 825 8	0.000 733 7	0.000 778 0	1.97	0.001 466 4	0.001 288 0	0.001 385 7
0.000 836 6	0.000 743 3	0.000 788 5	1.98	0.001 481 1	0.001 300 6	0.001 399 6
0.000 847 7	0.000 752 9	0.000 799 0	1.99	0.001 495 0	0.001 313 4	0.001 413 6
0.000 858 9	0.000 762 6	0.000 809 6	2.00	0.001 510 7	0.001 326 2	0.001 427 7

VITESSES moyennes v.	VALEURS CORRESPONDANTES de RI dans les canaux. Ettelwein.	de RI dans les canaux. de Prony.	de $\frac{1}{4}$ DJ dans les tuyaux. de Prony.	VITESSES moyennes v.	VALEURS CORRESPONDANTES de RI dans les canaux. Ettelwein.	de RI dans les canaux. de Prony.	de $\frac{1}{4}$ DJ dans les tuyaux. de Prony.
m				m			
2.01	0.001 525 7	0.001 339 0	0.001 441 8	2.51	0.002 363 8	0.002 060 3	0.002 [illegible]
2.02	0.001 540 5	0.001 351 9	0.001 456 0	2.52	0.002 382 4	0.002 076 3	0.002 [illegible]
2.03	0.001 555 6	0.001 364 9	0.001 470 3	2.53	0.002 401 2	0.002 092 4	0.002 [illegible]
2.04	0.001 570 7	0.001 377 9	0.001 484 7	2.54	0.002 419 9	0.002 108 5	0.002 [illegible]
2.05	0.001 585 9	0.001 391 0	0.001 499 1	2.55	0.002 438 8	0.002 124 7	0.002 [illegible]
2.06	0.001 601 2	0 001 404 2	0.001 513 6	2.56	0.002 457 7	0.002 140 9	0.002 [illegible]
2.07	0.001 616 5	0.001 417 4	0.001 528 1	2.57	0.002 476 8	0.002 157 2	0.002 [illegible]
2.08	0.001 632 0	0.001 430 7	0.001 542 8	2.58	0.002 495 8	0.002 173 6	0.002 [illegible]
2.09	0.001 647 4	0 001 444 0	0.001 557 5	2.59	0.002 514 9	0.002 190 0	0.002 [illegible]
2.10	0.001 663 0	0.001 457 4	0.001 572 2	2.60	0.002 534 0	0.002 206 5	0.002 [illegible]
2.11	0.001 678 6	0.001 470 9	0.001 587 1	2.61	0.002 553 4	0.002 223 1	0.002 [illegible]
2.12	0.001 694 3	0.001 484 4	0.001 602 0	2.62	0.002 572 8	0.002 239 7	0.002 [illegible]
2.13	0.001 710 1	0.001 498 0	0.001 616 9	2.63	0.002 592 2	0.002 256 4	0.002 [illegible]
2.14	0.001 725 7	0.001 511 7	0.001 632 0	2.64	0.002 611 8	0.002 273 1	0.002 [illegible]
2.15	0.001 741 9	0.001 525 4	0.001 647 1	2.65	0.002 631 3	0.002 290 0	0 002 [illegible]
2.16	0.001 757 9	0.001 539 2	0.001 662 3	2 66	0.002 650 9	0.002 306 8	0.002 [illegible]
2.17	0.001 774 0	0.001 553 0	0.001 677 5	2.67	0.002 670 7	0.002 323 8	0.002 [illegible]
2.18	0.001 790 1	0.001 566 9	0.001 692 8	2.68	0.002 690 5	0.002 340 7	0.002 [illegible]
2.19	0.001 806 3	0.001 580 9	0.001 708 2	2.69	0.002 710 4	0.002 357 8	0.002 [illegible]
2.20	0.001 822 6	0.001 594 9	0.001 723 7	2.70	0.002 730 3	0.002 374 9	0.002 [illegible]
2.21	0.001 838 9	0.001 609 0	0.001 739 2	2.71	0.002 750 4	0.002 392 1	0.002 [illegible]
2.22	0.001 855 4	0.001 623 1	0.001 754 8	2.72	0.002 770 4	0.002 409 3	0.002 [illegible]
2.23	0.001 871 9	0.001 637 3	0.001 770 5	2.73	0.002 790 6	0.002 426 6	0.002 [illegible]
2.24	0.001 888 5	0.001 651 6	0.001 786 2	2.74	0.002 810 8	0.002 444 0	0.002 [illegible]
2.25	0.001 905 2	0.001 665 9	0.001 802 1	2.75	0.002 831 1	0.002 461 4	0.002 [illegible]
2.26	0.001 921 8	0.001 680 3	0.001 817 9	2.76	0.002 851 5	0.002 478 9	0.002 [illegible]
2.27	0.001 938 7	0.001 694 8	0.001 833 9	2.77	0.002 872 0	0.002 496 5	0.002 [illegible]
2.28	0.001 955 5	0.001 709 3	0.001 849 9	2.78	0.002 892 5	0.002 514 1	0.002 [illegible]
2.29	0.001 972 5	0.001 723 9	0.001 866 0	2.79	0.002 913 1	0 002 531 8	0.002 [illegible]
2.30	0.001 989 5	0.001 738 5	0.001 882 2	2.80	0.002 933 8	0.002 549 5	0.002 [illegible]
2.31	0.002 006 7	0.001 753 2	0.001 898 4	2.81	0.002 954 5	0.002 567 3	0.002 [illegible]
2.32	0.002 023 8	0.001 768 0	0.001 914 7	2.82	0.002 975 4	0.002 585 1	0.002 [illegible]
2.33	0.002 041 0	0.001 782 8	0.001 931 0	2.83	0.002 996 3	0.002 603 1	0.002 [illegible]
2.34	0.002 058 4	0.001 797 7	0.001 947 5	2.84	0.003 017 2	0.002 621 0	0.002 [illegible]
2.35	0.002 075 7	0.001 812 6	0.001 964 0	2.85	0.003 038 3	0.002 639 1	0.002 [illegible]
2.36	0.002 093 2	0.001 827 7	0.001 980 6	2.86	0.003 059 4	0.002 657 2	0.002 [illegible]
2.37	0.002 110 7	0.001 842 7	0.001 997 2	2.87	0.003 080 6	0.002 675 4	0.002 [illegible]
2.38	0.002 128 4	0.001 857 9	0.002 013 9	2.88	0.003 101 8	0.002 693 6	0.002 [illegible]
2.39	0.002 146 0	0.001 873 1	0.002 030 7	2.89	0.003 123 2	0.002 711 9	0.002 [illegible]
2.40	0 002 163 7	0.001 888 3	0.002 047 6	2.90	0.003 144 6	0.002 730 2	0.002 [illegible]
2.41	0.002 181 6	0.001 903 7	0.002 064 5	2.91	0.003 166 1	0.002 748 7	0.002 [illegible]
2.42	0.002 199 5	0.001 919 0	0.002 081 5	2.92	0.003 187 6	0.002 767 1	0.003 [illegible]
2.43	0.002 217 5	0.001 934 5	0.002 098 5	2.93	0.003 209 2	0.002 785 7	0.003 [illegible]
2.44	0.002 235 5	0.001 950 0	0.002 115 7	2.94	0.003 230 9	0.002 804 3	0.003 [illegible]
2.45	0.002 253 6	0.001 965 6	0.002 132 9	2.95	0.003 252 7	0.002 822 9	0.003 [illegible]
2.46	0.002 271 8	0 001 981 2	0.002 150 2	2.96	0.003 274 5	0.002 841 7	0.003 [illegible]
2.47	0.002 290 0	0.001 986 9	0.002 167 5	2.97	0.003 296 5	0.002 860 5	0.003 [illegible]
2.48	0.002 308 4	0.002 012 6	0.002 184 9	2.98	0.003 318 5	0.002 879 3	0.003 [illegible]
2.49	0.002 326 8	0.002 028 5	0.002 202 4	2.99	0.003 340 5	0.002 898 2	0.003 [illegible]
2.50	0.002 345 3	0.002 044 3	0.002 219 9	3.00	0.003 362 7	0.002 917 2	0.003 [illegible]

TABLE des valeurs de $RI = 0.000\,401\,02 v^{\frac{21}{11}}$ *dans les canaux, et de* $\frac{DJ}{4} = 0.000\,295\,57 v^{\frac{12}{7}}$ *dans les tuyaux, d'après M. de Saint-Venant.*

VITESSES moyennes v.	VALEURS CORRESPONDANTES de RI.	VALEURS CORRESPONDANTES de $\frac{DJ}{4}$.	VITESSES moyennes v.	VALEURS CORRESPONDANTES de RI.	VALEURS CORRESPONDANTES de $\frac{DJ}{4}$.
m			m		
0.04	»	0.000 001 19	0.53	0.000 119 34	0.000 099 54
0.05	»	0.000 001 74	0.54	0.000 123 67	0.000 102 78
0.06	»	0.000 002 38	0.55	0.000 128 08	0.000 106 06
0.07	»	0.000 003 10	0.56	0.000 132 57	0.000 109 39
0.08	»	0.000 003 89	0.57	0.000 137 13	0.000 112 76
0.09	»	0.000 004 76	0.58	0.000 141 76	0,000 116 17
0.10	0.000 004 94	0.000 005 71	0.59	0.000 146 46	0.000 119 63
0.11	0.000 005 93	0.000 006 72	0.60	0.000 151 23	0.000 123 13
0.12	0.000 007 00	0.000 007 80	0.61	0.000 156 08	0.000 126 67
0.13	0.000 008 16	0.000 008 95	0.62	0.000 161 00	0.000 130 25
0.14	0.000 009 40	0.000 010 16	0.63	0.000 165 99	0.000 133 87
0.15	0.000 010 72	0.000 011 43	0.64	0.000 171 06	0.000 137 53
0.16	0.000 012 13	0.000 012 77	0.65	0.000 176 20	0.000 141 23
0.17	0.000 013 62	0.000 014 17	0.66	0.000 181 41	0.000 144 97
0.18	0.000 015 19	0.000 015 63	0.67	0.000 186 69	0.000 148 76
0.19	0.000 016 84	0.000 017 15	0.68	0.000 192 05	0.000 152 59
0.20	0.000 018 57	0.000 018 72	0.69	0.000 197 48	0.000 156 46
0.21	0.000 020 38	0.000 020 36	0.70	0.000 202 98	0.000 160 37
0.22	0.000 022 27	0.000 022 05	0.71	0.000 208 55	0.000 164 31
0.23	0.000 024 25	0.000 023 80	0.72	0 000 214 19	0.000 168 30
0.24	0.000 026 30	0.000 025 60	0.73	0.000 219 90	0.000 172 33
0.25	0.000 028 43	0.000 027 45	0.74	0.000 225 69	0.000 176 40
0.26	0.000 030 64	0.000 029 36	0.75	0.000 231 55	0.000 180 50
0.27	0.000 032 93	0.000 031 32	0.76	0.000 237 48	0.000 184 65
0.28	0.000 035 30	0 000 033 33	0.77	0.000 243 48	0.000 188 83
0.29	0.000 037 74	0.000 035 40	0.78	0.000 249 55	0.000 193 06
0.30	0.000 040 27	0.000 037 52	0.79	0.000 255 70	0.000 197 32
0.31	0.000 042 87	0.000 039 69	0.80	0.000 261 92	0.000 201 62
0.32	0.000 045 55	0.000 041 91	0.81	0.000 268 21	0.000 205 96
0.33	0.000 048 30	0.000 044 18	0.82	0.000 274 56	0.000 210 34
0.34	0.000 051 14	0.000 046 50	0.83	0.000 280 98	0.000 214 75
0.35	0.000 054 05	0.000 048 87	0.84	0.000 287 48	0.000 219 21
0.36	0.000 057 03	0.000 051 29	0.85	0.000 294 05	0.000 223 70
0.37	0.000 060 09	0.000 053 76	0.86	0.000 300 69	0.000 228 23
0.38	0.000 063 23	0.000 056 27	0.87	0.000 307 40	0.000 232 80
0.39	0.000 066 45	0.000 058 83	0.88	0.000 314 18	0.000 237 41
0.40	0.000 069 74	0.000 061 44	0.89	0.000 321 03	0.000 242 05
0.41	0.000 073 10	0.000 064 10	0.90	0.000 327 95	0.000 246 73
0.42	0.000 076 55	0.000 066 81	0.91	0.000 334 94	0.000 251 45
0.43	0.000 080 07	0.000 069 56	0.92	0.000 342 01	0.000 256 20
0.44	0.000 083 65	0 000 072 35	0.93	0.000 349 13	0.000 260 99
0.45	0.000 087 32	0.000 075 19	0.94	0.000 356 34	0.000 265 82
0.46	0.000 091 06	0.000 078 08	0.95	0.000 363 61	0.000 270 69
0.47	0.000 094 88	0.000 081 01	0.96	0.000 370 95	0.000 275 59
0.48	0.000 098 77	0.000 083 99	0.97	0.000 378 36	0.000 280 53
0.49	0.000 102 74	0.000 087 01	0.98	0.000 385 85	0.000 285 51
0.50	0.000 106 78	0.000 090 08	0.99	0.000 393 41	0.000 290 52
0.51	0.000 110 89	0.000 093 19	1.00	0.000 401 03	0.000 295 57
0.52	0.000 115 08	0.000 096 34	1.01	0.000 408 7	0.000 300 7

VITESSES moyennes v.	VALEURS CORRESPONDANTES de RI.	VALEURS CORRESPONDANTES de $\frac{DJ}{4}$.	VITESSES moyennes v.	VALEURS CORRESPONDANTES de RI.	VALEURS CORRESPONDANTES de $\frac{DJ}{4}$.
m			m		
1.02	0.000 416 5	0.000 305 8	1.56	0.000 937 2	0.000 633 5
1.03	0.000 424 3	0.000 310 9	1.57	0.000 948 8	0.000 640 5
1.04	0.000 432 2	0.000 316 1	1.58	0.000 960 4	0.000 647 5
1.05	0.000 440 2	0.000 321 3	1.59	0.000 972 0	0.000 654 5
1.06	0.000 448 2	0.000 326 6	1.60	0.000 983 7	0.000 661 6
1.07	0.000 456 3	0.000 331 9	1.61	0.000 995 5	0.000 668 7
1.08	0.000 464 5	0.000 337 3	1.62	0.001 007 3	0.000 675 8
1.09	0.000 472 7	0.000 342 6	1.63	0.001 019 2	0.000 683 0
1.10	0.000 481 0	0.000 348 0	1.64	0.001 031 2	0.000 690 2
1.11	0.000 489 4	0.000 353 5	1.65	0.001 043 2	0.000 697 4
1.12	0.000 497 9	0.000 359 0	1.66	0.001 055 3	0.000 704 7
1.13	0.000 506 4	0.000 364 5	1.67	0.001 067 5	0.000 712 0
1.14	0.000 515 0	0.000 370 0	1.68	0.001 079 7	0.000 719 3
1.15	0.000 523 7	0.000 375 6	1.69	0.001 092 0	0.000 726 6
1.16	0.000 532 4	0.000 381 2	1.70	0.001 104 4	0.000 734 0
1.17	0.000 541 2	0.000 386 9	1.71	0.001 116 9	0.000 741 4
1.18	0.000 550 0	0.000 392 6	1.72	0.001 129 3	0.000 748 9
1.19	0.000 559 0	0.000 398 3	1.73	0.001 141 9	0.000 756 4
1.20	0.000 568 0	0.000 404 0	1.74	0.001 154 5	0.000 763 9
1.21	0.000 577 1	0.000 409 8	1.75	0.001 167 2	0.000 771 4
1.22	0.000 586 2	0.000 415 6	1.76	0.001 180 0	0.000 779 0
1.23	0.000 595 4	0.000 421 5	1.77	0.001 202 8	0.000 786 6
1.24	0.000 604 7	0.000 427 4	1.78	0.001 205 7	0.000 794 2
1.25	0.000 614 0	0.000 433 3	1.79	0.001 218 7	0.000 801 9
1.26	0.000 623 4	0.000 439 3	1.80	0.001 231 7	0.000 809 6
1.27	0.000 632 9	0.000 445 2	1.81	0.001 244 8	0.000 817 3
1.28	0.000 642 5	0.000 451 3	1.82	0.001 258 0	0.000 825 1
1.29	0.000 652 1	0.000 457 4	1.83	0.001 271 2	0.000 832 9
1.30	0.000 661 8	0.000 463 4	1.84	0.001 284 5	0.000 840 7
1.31	0.000 671 5	0.000 469 6	1.85	0.001 297 8	0.000 848 5
1.32	0.000 681 3	0.000 475 7	1.86	0.001 311 3	0.000 856 4
1.33	0.000 691 2	0.000 481 9	1.87	0.001 324 8	0.000 864 3
1.34	0.000 701 1	0.000 488 2	1.88	0.001 338 4	0.000 872 2
1.35	0.000 711 2	0.000 494 4	1.89	0.001 352 0	0.000 880 2
1.36	0.000 721 3	0.000 500 7	1.90	0.001 365 6	0.000 888 2
1.37	0.000 731 5	0.000 507 0	1.91	0.001 379 4	0.000 896 3
1.38	0.000 741 7	0.000 513 4	1.92	0.001 393 2	0.000 904 3
1.39	0.000 752 0	0.000 519 8	1.93	0.001 407 1	0.000 912 4
1.40	0.000 762 3	0.000 526 2	1.94	0.001 421 0	0.000 920 5
1.41	0.000 772 7	0.000 532 7	1.95	0.001 435 0	0.000 928 7
1.42	0.000 783 2	0.000 539 2	1.96	0.001 449 1	0.000 936 9
1.43	0.000 793 8	0.000 545 7	1.97	0.001 463 3	0.000 945 1
1.44	0.000 804 4	0.000 552 3	1.98	0.001 477 5	0.000 953 3
1.45	0.000 815 1	0.000 558 9	1.99	0.001 491 8	0.000 961 6
1.46	0.000 825 9	0.000 565 5	2.00	0.001 506 2	0.000 969 9
1.47	0.000 836 7	0.000 572 1	2.01	0.001 520 6	0.000 978 2
1.48	0.000 847 6	0.000 578 8	2.02	0.001 535 1	0.000 986 6
1.49	0.000 858 6	0.000 585 5	2.03	0.001 549 6	0.000 994 9
1.50	0.000 869 7	0.000 592 3	2.04	0.001 564 2	0.001 003 4
1.51	0.000 880 8	0.000 599 1	2.05	0.001 578 8	0.001 011 8
1.52	0.000 891 9	0.000 605 9	2.06	0.001 593 5	0.001 020 3
1.53	0.000 903 1	0.000 612 7	2.07	0.001 608 3	0.001 028 8
1.54	0.000 914 4	0.000 619 6	2.08	0.001 623 2	0.001 037 3
1.55	0.000 925 8	0.000 626 5	2.09	0.001 638 2	0.001 045 9

VITESSES moyennes	VALEURS CORRESPONDANTES		VITESSES moyennes	VALEURS CORRESPONDANTES	
v.	de RI.	de $\frac{DJ}{4}$.	v.	de RI.	de $\frac{DJ}{4}$.
m			m		
2.10	0.001 653 2	0.001 054 5	2.56	0.002 412 9	0.001 480 8
2.11	0.001 668 3	0.001 063 1	2.57	0.002 430 9	0.001 490 7
2.12	0.001 683 4	0.001 071 7	2.58	0.002 449 0	0.001 500 7
2.13	0.001 698 6	0.001 080 4	2.59	0.002 467 1	0.001 510 7
2.14	0.001 713 8	0.001 089 1	2.60	0.002 485 3	0.001 520 7
2.15	0.001 729 1	0.001 097 9	2.61	0.002 503 6	0.001 530 7
2.16	0.001 744 5	0.001 106 6	2.62	0.002 522 0	0.001 540 8
2.17	0.001 759 9	0.001 115 4	2.63	0.002 540 4	0.001 550 9
2.18	0.001 775 4	0.001 124 3	2.64	0.002 558 9	0.001 561 0
2.19	0.001 791 0	0.001 133 1	2.65	0.002 577 4	0.001 571 2
2.20	0.001 806 7	0.001 142 0	2.66	0.002 596 0	0.001 581 3
2.21	0.001 822 4	0.001 150 9	2.67	0.002 614 7	0.001 591 5
2.22	0.001 838 2	0.001 159 9	2.68	0.002 633 4	0.001 601 8
2.23	0.001 854 0	0.001 168 9	2.69	0.002 652 2	0.001 612 1
2.24	0.001 869 9	0.001 177 8	2.70	0.002 671 0	0.001 622 4
2.25	0.001 885 9	0.001 186 9	2.71	0.002 689 9	0.001 632 7
2.26	0.001 902 0	0.001 195 9	2.72	0.002 708 9	0.001 643 0
2.27	0.001 918 1	0.001 205 0	2.73	0.002 728 0	0.001 653 4
2.28	0.001 934 2	0.001 214 1	2.74	0.002 747 1	0.001 663 8
2.29	0.001 950 4	0.001 223 3	2.75	0.002 766 3	0.001 674 2
2.30	0.001 966 7	0.001 232 5	2.76	0.002 785 5	0.001 684 6
2.31	0.001 983 1	0.001 241 7	2.77	0.002 804 8	0.001 695 1
2.32	0.001 999 5	0.001 250 9	2.78	0.002 824 2	0.001 705 6
2.33	0.002 016 0	0.001 260 1	2.79	0.002 843 6	0.001 716 2
2.34	0.002 032 6	0.001 269 4	2.80	0.002 863 1	0.001 726 7
2.35	0.002 049 2	0.001 278 7	2.81	0.002 882 7	0.001 737 3
2.36	0.002 065 8	0.001 288 1	2.82	0.002 902 3	0.001 747 9
2.37	0.002 082 5	0.001 297 4	2.83	0.002 922 0	0.001 758 5
2.38	0.002 099 3	0.001 306 8	2.84	0.002 941 7	0.001 769 2
2.39	0.002 116 2	0.001 316 3	2.85	0.002 961 5	0.001 779 9
2.40	0.002 133 2	0.001 325 7	2.86	0.002 981 4	0.001 790 6
2.41	0.002 150 2	0.001 335 2	2.87	0.003 001 3	0.001 801 4
2.42	0.002 167 3	0.001 344 7	2.88	0.003 021 3	0.001 812 1
2.43	0.002 184 4	0.001 354 3	2.89	0.003 041 4	0.001 822 9
2.44	0.002 201 6	0.001 363 8	2.90	0.003 061 5	0.001 833 7
2.45	0.002 218 9	0.001 373 4	2.91	0.003 081 7	0.001 844 6
2.46	0.002 236 2	0.001 383 1	2.92	0.003 101 9	0.001 855 5
2.47	0.002 253 6	0.001 392 7	2.93	0.003 122 2	0.001 866 4
2.48	0.002 271 0	0.001 402 4	2.94	0.003 142 6	0.001 877 3
2.49	0.002 288 5	0.001 412 1	2.95	0.003 163 0	0.001 888 3
2.50	0.002 306 1	0.001 421 9	2.96	0.003 183 5	0.001 899 2
2.51	0.002 323 7	0.001 431 6	2.97	0.003 204 1	0.001 910 2
2.52	0.002 341 4	0.001 441 4	2.98	0.003 224 7	0.001 921 3
2.53	0.002 359 2	0.001 451 2	2.99	0.003 245 4	0.001 932 4
2.54	0.002 377 0	0.001 461 0	3.00	0.003 266 1	0.001 943 5
2.55	0.002 394 9	0.001 470 9			

176. *Limites convenables de la vitesse dans les tuyaux de conduite.* A moins que l'on ne possède naturellement une charge motrice considérable, il ne convient pas que la vitesse v dépasse 3 mètres et même 2 mètres, surtout si les robinets sont susceptibles d'interrompre brus-

quement la circulation; les coups de bélier qui en résulteraient pourraient briser la conduite ou au moins altérer les joints. Quand il y a intérêt à économiser la charge, on limite v à quelques centimètres pour les petits diamètres et à quelques décimètres pour les grands; cependant, lorsque les eaux peuvent laisser des dépôts qui obstrueraient les conduites, v ne doit pas être inférieure à un ou deux décimètres, et elle doit toujours être suffisante pour que la vase ou le sable léger en suspension ne se déposent pas (172).

177. L'application suivante va faire comprendre la marche à suivre dans l'établissement des tuyaux de conduite d'eau, en faisant usage de la table de Prony (page 138), marche qui serait analogue pour l'établissement des canaux découverts.

Soit à déterminer le diamètre d'une conduite de 5000 *mètres de longueur, capable de débiter* 60 *mètres cubes d'eau par heure, la charge totale, c'est-à-dire la différence de niveau de l'eau dans le réservoir alimentaire et dans le réservoir alimenté étant de* 5 *mètres.*

La dépense par seconde est de $\frac{60000}{3600} = 16,6667$ litres.

La charge J (175) par mètre est de $\frac{5}{5000} = 0^m,001$.

Cela posé, on procède par tâtonnement, en essayant différents diamètres :

Pour une conduite de $0^m,20$ de diamètre, on a

$$\frac{1}{4}\,\mathrm{DJ} = \frac{0,20 \times 0,001}{4} = 0,000\,05. \qquad (175)$$

Cherchant dans la table la valeur de $\frac{1}{4}$ DJ qui approche le plus de la valeur 0,000 05 sans la surpasser, on trouve 0,000 048 7, qui correspond à la vitesse moyenne $0^m,35$ par seconde.

La section de la conduite de $0^m,20$ de diamètre étant de 3,1416 décimètres carrés, le débit par seconde est de

$$3,1416 \times 3,5 = 10,9956 \text{ litres};$$

le diamètre $0^m,20$ est donc trop faible.

Essayant un diamètre plus grand, $0^m,24$ par exemple, on a

$$\frac{1}{4}\,\mathrm{DJ} = \frac{0,24 \times 0,001}{4} = 0,000\,06,$$

et la table donne pour la valeur de $\frac{1}{4}$ DJ immédiatement inférieure à 0,000 06, 0,000 0597 qui correspond à la vitesse moyenne $0^m,39$.

La section du tuyau étant de 4,5239 décimètres carrés, le débit par seconde est de

$$4,5239 \times 3,9 = 17,6432 \text{ litres}.$$

Le diamètre 0^{m},24 est donc un peu fort ; mais, à cause des dépôts séléniteux ou vaseux qui se forment dans les tuyaux de conduite, et qui en diminuent la section et par suite le débit, il convient d'adopter 0^{m},24. Du reste, on déterminerait plus exactement la diamètre devant satisfaire au tableau de Prony, en continuant le tâtonnement (185 et 186).

178. C'est afin d'éviter ces tâtonnements que nous avons calculé la table suivante, qui donne, pour différents diamètres, les dépenses et les charges par mètre de longueur de conduite correspondant à différentes vitesses moyennes de l'eau dans chaque conduite. Les diamètres compris dans cette table sont tels, que chacun d'eux diffère assez peu de ceux immédiatement inférieur et supérieur, pour que le débit à produire sous une certaine charge tombant entre les débits des deux diamètres de la table, sous la même charge, on puisse juger, à la simple inspection, quel serait à peu près le diamètre exact que donnerait la table de Prony, et balancer l'augmentation que l'on juge convenable pour obvier à l'influence des dépôts, sans craindre d'employer un diamètre trop grand, ce qui entraînerait dans des dépenses inutiles.

Lorsqu'on établit une distribution d'eau dans une ville, il convient de ne pas avoir un trop grand nombre de diamètres différents pour les divers embranchements de la conduite, afin de diminuer, autant que possible, les frais de modèles ; mais il faut avoir soin aussi de ne pas pécher en sens contraire, c'est-à-dire de ne pas employer des diamètres trop grands pour les débits à produire ; car bientôt l'excès de matière contenue dans les tuyaux et l'augmentation du prix des robinets dépasseraient l'économie faite sur les modèles.

Une considération à laquelle il convient d'avoir égard en fixant le débit d'une conduite et par suite son diamètre, c'est de savoir si ce débit est susceptible de devoir être augmenté, par suite d'un accroissement de la population ou de la construction de quelques établissements industriels.

La première colonne de notre table est commune à tous les diamètres qui se trouvent sur la page, et elle donne les différentes vitesses moyennes de l'eau dans les conduites. La deuxième contient les dépenses correspondant aux vitesses de la première colonne ; ces dépenses ont été obtenues en multipliant la section de chaque tuyau par les vitesses moyennes. La troisième renferme les charges J par mètre de longueur de conduite (175), nécessaires pour que les débits soient ceux indiqués dans la deuxième colonne ; ces charges ont été déduites de la table de Prony (175), en divisant par $\frac{1}{4}$ D les valeurs de $\frac{1}{4}$ DJ correspondant aux vitesses moyennes de la première colonne de notre table.

TABLE relative à l'établissement des tuyaux de conduite d'eau.

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.05 Section *id.* 0mc.0019635		Diamèt. de la conduite 0m 06 Section *id.* 0mc.00282744		Diamèt. de la conduite (Section *id.* 0mc.003	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges p mètre de lon de condu
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.005	0.0098	0.000 007 62	0.0141	0.000 006 35	0.0192	0.000 00
0.01	0.0196	0.000 016 66	0.0283	0.000 013 88	0.0385	0.000 01
0.02	0.0393	0.000 038 88	0.0565	0.000 032 40	0.0770	0.000 02
0.03	0.0589	0.000 066 68	0.0848	0.000 055 57	0.1155	0.000 0
0.04	0.0785	0.000 100 04	0.1131	0.000 083 37	0.1539	0.000 07
0.05	0.0982	0.000 138 98	0.1414	0.000 115 82	0.1924	0.000 09
0.06	0.1178	0.000 183 48	0.1696	0.000 152 90	0.2309	0.000 13
0.07	0.1374	0.000 233 58	0.1979	0.000 194 65	0.2694	0.000 16
0.08	0.1571	0.000 289 22	0.2262	0.000 241 02	0.3079	0.000 20
0.09	0.1767	0.000 350 46	0.2545	0.000 292 05	0.3464	0.000 25
0.10	0.1963	0.000 417 26	0.2827	0.000 347 72	0.3848	0.000 29
0.11	0.2160	0.000 489 64	0.3110	0.000 408 03	0.4233	0.000 34
0.12	0.2356	0.000 567 58	0.3393	0.000 472 98	0.4618	0.000 40
0.13	0.2552	0.000 651 10	0.3676	0.000 542 58	0.5003	0.000 46
0.14	0.2749	0.000 740 18	0.3958	0.000 616 82	0.5388	0.000 52
0.15	0.2945	0.000 834 84	0.4241	0.000 695 70	0.5773	0.000 59
0.16	0.3142	0.000 935 08	0.4524	0.000 779 23	0.6158	0.000 66
0.17	0.3338	0.001 040 88	0.4807	0.000 867 40	0.6542	0.000 75
0.18	0.3534	0.001 152 26	0.5089	0.000 960 22	0.6927	0.000 82
0.19	0.3731	0.001 269 20	0.5372	0.001 057 67	0.7312	0.000 90
0.20	0.3927	0.001 391 74	0.5655	0.001 159 78	0.7697	0.000 99
0.22	0.4320	0.001 653 50	0.6220	0.001 377 92	0.8467	0.001 18
0.25	0.4909	0.002 087 92	0.7069	0.001 739 93	0.9621	0.001 49
0.28	0.5498	0.002 572 50	0.7917	0.002 143 75	1.0775	0.001 83
0.30	0.5890	0.002 923 42	0.8482	0.002 436 18	1.1545	0.002 08
0.32	0.6283	0.003 296 62	0.9048	0.002 747 16	1.2315	0.002 35
0.35	0.6872	0.003 898 22	0.9896	0.003 246 52	1.3470	0.002 78
0.38	0.7461	0.004 540 96	1.0744	0.003 791 63	1.4624	0.003 21
0.40	0.7854	0.005 012 32	1.1310	0.004 176 93	1.5394	0.003 58
0.42	0.8247	0.005 496 96	1.1875	0.004 580 80	1.6164	0.003 92
0.45	0.8836	0.006 265 72	1.2723	0.005 221 43	1.7318	0.004 47
0.48	0.9425	0.007 084 64	1.3572	0.005 903 87	1.8473	0.005 06
0.50	0.9817	0.007 658 44	1.4137	0.006 382 03	1.9242	0.005 47
0.55	1.0799	0.009 190 44	1.5551	0.007 658 70	2.1166	0.006 56
0.60	1.1781	0.010 861 76	1.6965	0.009 051 47	2.3091	0.007 75
0.65	1.2763	0.012 672 38	1.8378	0.010 560 32	2.5015	0.009 05
0.70	1.3744	0.014 622 32	1.9792	0.012 185 27	2.6939	0.010 44
0.75	1.4726	0.016 711 54	2.1206	0.013 926 28	2.8863	0.011 93
0.80	1.5708	0.018 940 08	2.2619	0.015 783 40	3.0788	0.013 52
0.85	1.6690	0.021 307 90	2.4033	0.017 756 58	3.2712	0.015 21
0.90	1.7671	0.023 815 04	2.5447	0.019 845 87	3.4636	0.017 01

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite $0^{m}.05$ Section *id.* $0^{mc}.0019635$		Diamèt. de la conduite $0^{m}.06$ Section *id.* $0^{mc}.0028274$4		Diamèt. de la conduite $0^{m}.07$ Section *id.* $0^{mc}.0038484$6	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.95	1.8653	0.026 461 48	2.6861	0.022 051 23	3.6560	0.018 901 06
1.00	1.9635	0.029 247 24	2.8274	0.024 372 70	3.8484	0.020 890 89
1.05	2.0617	0.032 172 28	2.9688	0.026 810 23	4.0409	0.022 980 20
1.10	2.1598	0.035 236 64	3.1102	0.029 363 87	4.2333	0.025 169 03
1.15	2.2580	0.038 440 30	3.2516	0.032 033 58	4.4257	0.027 457 36
1.20	2.3562	0.041 783 26	3.3929	0.034 819 38	4.6181	0.029 845 19
1.25	2.4544	0.045 265 52	3.5343	0.037 721 27	4.8105	0.032 332 51
1.30	2.5525	0.048 887 08	3.6757	0.040 739 23	5.0030	0.034 919 34
1.35	2.6507	0.052 647 96	3.8170	0.043 873 30	5.1954	0.037 605 69
1.40	2.7489	0.056 548 12	3.9584	0.047 123 43	5.3878	0.040 391 51
1.45	2.8471	0.060 587 60	4.0998	0.050 489 67	5.5803	0.043 276 86
1.50	2.9452	0.064 766 38	4.2412	0.053 971 98	5.7727	0.046 261 70
1.55	3.0434	0.069 084 48	4.3825	0.057 570 40	5.9651	0.049 346 06
1.60	3.1416	0.073 541 86	4.5239	0.061 284 88	6.1575	0.052 529 90
1.65	3.2397	0.078 138 56	4.6653	0.065 115 47	6.3499	0.055 813 26
1.70	3.3379	0.082 874 56	4.8066	0.069 062 13	6.5424	0.059 196 11
1.75	3.4361	0.087 749 86	4.9480	0.073 124 88	6.7348	0.062 678 47
1.80	3.5343	0.092 764 46	5.0894	0.077 303 72	6.9272	0.066 260 33
1.85	3.6324	0.097 918 36	5.2308	0.081 598 63	7.1196	0.069 941 69
1.90	3.7306	0.103 211 58	5.3721	0.086 009 65	7.3120	0.073 722 56
1.95	3.8288	0.108 644 08	5.5135	0.090 536 73	7.5045	0.077 602 91
2.00	3.9270	0.114 215 90	5.6549	0.095 179 92	7.6969	0.081 582 79
2.05	4.0251	0.119 927 02	5.7963	0.099 939 18	7.8893	0.085 662 16
2.10	4.1233	0.125 777 46	5.9376	0.104 814 55	8.0817	0.089 841 04
2.15	4.2215	0.131 767 18	6.0790	0.109 805 98	8.2741	0.094 119 41
2.20	4.3197	0.137 896 22	6.2204	0.114 913 52	8.4666	0.098 497 30
2.25	4.4179	0.144 164 54	6.3617	0.120 137 12	8.6590	0.102 974 67
2.30	4.5160	0.150 572 18	6.5031	0.125 476 82	8.8514	0.107 551 56
2.35	4.6142	0.157 119 12	6.6445	0.130 932 60	9.0438	0.112 227 94
2.40	4.7124	0.163 805 38	6.7859	0.136 504 48	9.2362	0.117 003 84
2.45	4.8106	0.170 680 92	6 9272	0.142 192 43	9.4287	0.121 879 23
2.50	4.9087	0.177 595 78	7.0686	0.147 996 48	9.6211	0.126 854 13
2.55	5.0070	0.184 699 94	7.2100	0.153 916 62	9.8135	0.131 928 53
2.60	5.1051	0.191 943 40	7.3513	0.159 952 83	10.0060	0.137 102 43
2.65	5.2032	0.199 326 16	7.4927	0.166 105 13	10.1984	0.142 375 83
2.70	5.3014	0.206 848 24	7.6341	0.172 373 53	10.3908	0.147 748 74
2.75	5.3996	0.214 509 60	7.7755	0.178 758 00	10.5832	0.153 221 14
2.80	5.4978	0.222 310 28	7.9168	0.185 258 57	10.7757	0.158 793 06
2.85	5.5960	0.230 250 26	8.0582	0.191 875 22	10.9681	0.164 464 47
2.90	5.6942	0.238 329 56	8.1996	0.198 607 97	11.1605	0.170 235 40
2.95	5.7923	0.246 548 14	8.3409	0.205 456 78	11.3529	0.176 105 81
3.00	5.8905	0.254 906 04	8.4823	0.212 421 70	11.5454	0.182 075 74

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite $0^{m}.08$ Section *id.* $0^{mc}.00502656$		Diamèt. de la conduite $0^{m}.09$ Section *id.* $0^{mc}.00636174$		Diamèt. de la conduite $0^{m}.1$ Section *id.* $0^{mc}.00785$	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.005	0.0251	0.000 004 76	0.0318	0.000 004 23	0.0393	0.000 003 81
0.01	0.0503	0.000 010 41	0.0636	0.000 009 26	0.0785	0.000 008 33
0.02	0.1005	0.000 024 30	0.1272	0.000 021 60	0.1571	0.000 019 44
0.03	0.1508	0.000 041 68	0.1908	0.000 037 05	0.2356	0.000 033 34
0.04	0.2011	0.000 062 53	0.2545	0.000 055 58	0.3142	0.000 050 02
0.05	0.2513	0.000 086 86	0.3181	0.000 077 21	0.3927	0.000 069 49
0.06	0.3016	0.000 114 68	0.3817	0.000 101 93	0.4712	0.000 091 74
0.07	0.3519	0.000 145 99	0.4453	0.000 129 77	0.5498	0.000 116 79
0.08	0.4021	0.000 180 76	0.5089	0.000 160 68	0.6283	0.000 144 61
0.09	0.4524	0.000 219 04	0.5726	0.000 194 70	0.7069	0.000 175 23
0.10	0.5027	0.000 260 79	0.6362	0.000 231 81	0.7854	0.000 208 63
0.11	0.5529	0.000 306 03	0.6998	0.000 272 02	0.8639	0.000 244 82
0.12	0.6032	0.000 354 74	0.7634	0.000 315 32	0.9425	0.000 283 79
0.13	0.6535	0.000 406 94	0.8270	0.000 361 72	1.0210	0.000 325 55
0.14	0.7037	0.000 462 61	0.8906	0.000 411 21	1.0996	0.000 370 09
0.15	0.7540	0.000 521 78	0.9543	0.000 463 80	1.1781	0.000 417 42
0.16	0.8042	0.000 584 43	1.0179	0.000 519 49	1.2566	0.000 467 51
0.17	0.8545	0.000 650 55	1.0815	0.000 578 27	1.3352	0.000 520 44
0.18	0.9048	0.000 720 16	1.1451	0.000 640 15	1.4137	0.000 576 13
0.19	0.9550	0.000 793 25	1.2087	0.000 705 11	1.4923	0.000 634 60
0.20	1.0053	0.000 869 84	1.2723	0.000 773 19	1.5708	0.000 695 87
0.22	1.1058	0.001 033 44	1.3996	0.000 918 61	1.7278	0.000 826 75
0.25	1.2566	0.001 304 95	1.5904	0.001 159 96	1.9635	0.001 043 96
0.28	1.4074	0.001 607 81	1.7813	0.001 429 17	2.1992	0.001 286 25
0.30	1.5080	0.001 827 14	1.9085	0.001 624 12	2.3562	0.001 461 71
0.32	1.6085	0.002 060 39	2.0357	0.001 831 46	2.5132	0.001 648 31
0.35	1.7593	0.002 436 39	2.2266	0.002 165 68	2.7489	0.001 949 11
0.38	1.9100	0.002 843 73	2.4175	0.002 527 76	2.9846	0.002 274 98
0.40	2.0106	0.003 132 70	2.5447	0.002 784 62	3.1416	0.002 506 16
0.42	2.1111	0.003 435 60	2.6719	0.003 053 87	3.2986	0.002 748 48
0.45	2.2620	0.003 916 08	2.8628	0.003 480 96	3.5343	0.003 132 86
0.48	2.4127	0.004 427 90	3.0536	0.003 935 91	3.7700	0.003 542 32
0.50	2.5133	0.004 786 53	3.1809	0.004 254 69	3.9270	0.003 829 22
0.55	2.7646	0.005 744 03	3.4989	0.005 105 80	4.3197	0.004 595 22
0.60	3.0159	0.006 788 60	3.8170	0.006 034 31	4.7124	0.005 430 88
0.65	3.2672	0.007 920 24	4.1351	0.007 040 21	5.1051	0.006 336 19
0.70	3.5186	0.009 138 95	4.4532	0.008 123 51	5.4978	0.007 311 16
0.75	3.7699	0.010 444 71	4.7713	0.009 284 19	5.8905	0.008 355 77
0,80	4.0212	0.011 837 55	5.0894	0.010 522 27	6.2832	0.009 470 04
0.85	4.2726	0.013 317 44	5.4075	0.011 837 72	6.6759	0.010 653 95
0.90	4.5239	0.014 884 40	5.7255	0.013 230 58	7.0686	0.011 907 52

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.08 Section id. 0mc.00502656		Diamèt. de la conduite 0m.09 Section id. 0mc.00636174		Diamèt. de la conduite 0m.10 Section id. 0mc.007854	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.95	4.7752	0.016 538 43	6.0436	0.014 700 82	7.4613	0.013 230 74
1.00	5.0266	0.018 279 53	6.3617	0.016 248 47	7.8540	0.014 623 62
1.05	5.2779	0.020 107 68	6.6798	0.017 873 49	8.2467	0.016 086 14
1.10	5.5292	0.022 022 90	6.9979	0.019 575 91	8.6394	0.017 618 32
1.15	5.7805	0.024 025 19	7.3160	0.021 355 72	9.0321	0.019 220 15
1.20	6.0319	0.026 114 54	7.6341	0.023 212 92	9.4248	0.020 891 68
1.25	6.2832	0.028 290 95	7.9522	0.025 147 51	9.8175	0.022 632 76
1.30	6.5345	0.030 554 43	8.2702	0.027 159 49	10.2102	0.024 443 54
1.35	6.7858	0.032 904 98	8.5883	0.029 248 87	10.6029	0.026 323 98
1.40	7.0372	0.035 342 58	8.9064	0.031 415 62	10.9956	0.028 274 06
1.45	7.2885	0.037 867 25	9.2245	0.033 659 78	11.3883	0.030 293 80
1.50	7.5398	0.040 478 99	9.5426	0.035 981 32	11.7810	0.032 383 19
1.55	7.7911	0.043 177 80	9.8607	0.038 380 27	12.1737	0.034 542 24
1.60	8.0425	0.045 963 66	10.1788	0.040 856 59	12.5664	0.036 770 93
1.65	8.2937	0.048 836 60	10.4968	0.043 410 31	12.9591	0.039 069 28
1.70	8.5451	0.051 796 60	10.8149	0.046 041 42	13.3518	0.041 437 28
1.75	8.7965	0.054 843 66	11.1330	0.048 749 92	13.7445	0.043 874 93
1.80	9.0478	0.057 977 79	11.4511	0.051 535 81	14.1372	0.046 382 23
1.85	9.2991	0.061 198 98	11.7692	0.054 399 09	14.5299	0.048 959 18
1.90	9.5505	0.064 507 24	12.0873	0.057 339 77	14.9226	0.051 605 79
1.95	9.8018	0.067 902 55	12.4053	0.060 357 82	15.3153	0.054 322 04
2.00	10.0531	0.071 384 94	12.7234	0.063 453 28	15.7081	0.057 107 95
2.05	10.3044	0.074 954 39	13.0415	0.066 626 12	16.1007	0.059 963 51
2.10	10.5558	0.078 610 91	13.3596	0.069 876 37	16.4934	0.062 888 73
2.15	10.8071	0.082 354 49	13.6777	0.073 203 99	16.8861	0.065 883 59
2.20	11.0584	0.086 185 14	13.9958	0.076 609 01	17.2788	0.068 948 11
2.25	11.3097	0.090 102 84	14.3139	0.080 091 41	17.6715	0.072 082 27
2.30	11.5610	0.094 107 61	14.6320	0.083 651 21	18.0642	0.075 286 09
2.35	11.8124	0.098 199 45	14.9501	0.087 288 40	18.4569	0.078 559 56
2.40	12.0637	0.102 378 36	15.2682	0.091 002 99	18.8496	0.081 902 69
2.45	12.3150	0.106 644 33	15.5862	0.094 794 96	19.2423	0.085 315 46
2.50	12.5664	0.110 997 36	15.9043	0.098 664 32	19.6350	0.088 797 89
2.55	12.8177	0.115 437 46	16.2224	0.102 611 08	20.0277	0.092 349 97
2.60	13.0690	0.119 964 63	16.5405	0.106 635 22	20.4204	0.095 971 70
2.65	13.3203	0.124 578 85	16.8586	0.110 736 76	20.8131	0.099 663 08
2.70	13.5717	0.129 280 15	17.1766	0.114 915 69	21.2058	0.103 424 12
2.75	13.8230	0.134 068 50	17.4947	0.119 172 00	21.5985	0.107 254 80
2.80	14.0743	0.138 943 93	17.8128	0.123 505 71	21.9912	0.111 155 14
2.85	14.3256	0.143 906 41	18.1309	0.127 916 81	22.3839	0.115 125 13
2.90	14.5770	0.148 955 98	18.4490	0.132 405 31	22.7766	0.119 164 78
2.95	14.8283	0.154 092 59	18.7671	0.136 971 19	23.1693	0.123 274 07
3.00	15.0797	0.159 316 28	19.0852	0.141 614 47	23.5620	0.127 453 [illegible]

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.11 Section *id.* 0mc.00950334		Diamèt. de la conduite 0m.12 Section *id.* 0mc.01130976		Diamèt. de la conduite Section *id.* 0mc.01	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de l de cond
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.01	0.0950	0.000 007 57	0.1131	0.000 006 94	0.1539	0.000 0
0.02	0.1901	0.000 017 67	0.2262	0.000 016 20	0.3079	0.000
0.03	0.2851	0.000 030 31	0.3393	0.000 027 79	0.4618	0.000
0.04	0.3801	0.000 045 47	0.4524	0.000 041 69	0.6158	0.000 0
0.05	0.4752	0.000 063 17	0.5655	0.000 057 91	0.7697	0.000 0
0.06	0.5702	0.000 083 40	0.6786	0.000 076 45	0.9236	0 000 0
0.07	0.6652	0.000 106 17	0.7917	0.000 097 33	1.0776	0.000 0
0.08	0.7603	0 000 131 46	0.9048	0.000 120 51	1.2315	0.000 1
0.09	0.8553	0.000 159 30	1.0179	0.000 146 03	1.3854	0.000 1
0.10	0.9503	0.000 189 66	1.1310	0.000 173 86	1.5394	0.000 1
0.11	1.0454	0.000 222 56	1.2441	0.000 204 02	1.6933	0.000 1
0.12	1.1404	0.000 257 99	1.3572	0.000 236 49	1.8473	0.000 2
0.13	1.2354	0.000 295 95	1.4703	0.000 271 29	2.0012	0.000 2
0.14	1.3305	0.000 336 45	1.5834	0.000 308 41	2.1551	0.000
0.15	1.4255	0.000 379 47	1.6965	0.000 347 85	2.3091	0.000
0.16	1.5205	0.000 425 04	1.8096	0.000 389 61	2.4630	0.000
0.17	1.6156	0.000 473 13	1.9227	0.000 433 70	2.6169	0.000
0.18	1.7106	0.000 523 75	2.0358	0.000 480 11	2.7709	0.000
0.19	1.8056	0.000 576 91	2.1489	0.000 528 84	2.9248	0.000
0.20	1.9007	0.000 632 61	2.2620	0.000 579 89	3.0788	0.000
0.22	2.0907	0.000 751 59	2.4881	0.000 688 96	3.3866	0.000
0.25	2.3758	0.000 949 05	2.8274	0.000 869 97	3.8485	0.000
0.28	2.6609	0.001 169 32	3.1667	0.001 071 88	4.3103	0.000
0.30	2.8510	0.001 328 83	3.3929	0.001 218 09	4.6182	0.001
0.32	3.0411	0.001 498 46	3.6191	0.001 373 59	4.9260	0.001
0.35	3.3262	0.001 771 92	3.9584	0.001 624 26	5.3878	0.001
0.38	3.6113	0.002 068 16	4.2977	0.001 895 82	5.8497	0.001
0.40	3.8013	0.002 278 33	4.5239	0.002 088 47	6.1575	0.001
0.42	3.9914	0.002 498 62	4.7501	0.002 290 40	6.4654	0.001
0.45	4.2765	0.002 848 05	5.0894	0 002 610 72	6.9272	0.002
0.48	4.5616	0.003 220 29	5.4287	0.002 951 94	7.3890	0.002
0.50	4.7517	0.003 481 11	5.6549	0.003 191 02	7.6969	0.002
0.55	5.2268	0.004 177 47	6.2204	0.003 829 35	8.4666	0.003
0.60	5.7020	0.004 987 16	6.7859	0.004 525 74	9.2363	0.003
0.65	6.1772	0.005 760 17	7.3513	0.005 280 16	10.0060	0.004
0.70	6.6523	0.006 646 51	7.9168	0.006 092 64	10.7757	0.005
0.75	7.1275	0.007 596 15	8.4823	0.006 963 14	11.5454	0.005
0.80	7.6027	0.008 609 13	9.0478	0.007 891 70	12.3151	0.006
0.85	8.0778	0.009 685 41	9.6133	0.008 878 29	13.0848	0.007
0.90	8.5530	0.010 825 02	10.1788	0.009 922 93	13.8545	0.008
0.95	9.0282	0.012 027 95	10.7443	0.011 025 62	14.6242	0.009

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.11 Section *id.* 0mc.00950334		Diamèt. de la conduite 0m.12 Section *id.* 0mc.01130976		Diamèt. de la conduite 0m.14 Section *id.* 0mc.01539384	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
1.00	9.5033	0.013 294 20	11.3098	0.012 186 35	15.3938	0.0[illegible] 445 45
1.05	9.9785	0.014 623 76	11.8753	0.013 405 12	16.1635	0.011 490 10
1.10	10.4537	0.016 016 65	12.4407	0.014 681 94	16.9332	0.012 584 52
1.15	10.9288	0.017 472 86	13.0062	0.016 016 79	17.7029	0.013 728 68
1.20	11.4040	0.018 992 39	13.5717	0.017 409 69	18.4726	0.014 922 59
1.25	11.8792	0.020 575 24	14.1372	0.018 860 64	19.2423	0.016 166 26
1.30	12.3543	0.022 221 40	14.7027	0.020 369 62	20.0120	0.017 459 67
1.35	12.8295	0.023 930 89	15.2682	0.021 936 65	20.7817	0.018 802 85
1.40	13.3047	0.025 703 69	15.8337	0.023 561 72	21.5514	0.020 195 76
1.45	13.7798	0.027 539 82	16.3992	0.025 244 84	22.3211	0.021 638 43
1.50	14.2550	0.029 439 26	16.9646	0.026 985 99	23.0908	0.023 130 85
1.55	14.7302	0.031 402 04	17.5301	0.028 785 20	23.8604	0.024 673 03
1.60	15.2053	0.033 428 12	18.0956	0.030 642 44	24.6301	0.026 264 95
1.65	15.6805	0.035 517 53	18.6611	0.032 557 74	25.3998	0.027 906 63
1.70	16.1557	0.037 670 25	19.2266	0.034 531 07	26.1695	0.029 598 06
1.75	16.6308	0.039 886 30	19.7921	0.036 562 44	26.9392	0.031 339 24
1.80	17.1060	0.042 165 66	20.3576	0.038 651 86	27.7089	0.033 130 17
1.85	17.5812	0.044 508 35	20.9231	0.040 799 32	28.4786	0.034 970 85
1.90	18.0563	0.046 914 35	21.4885	0.043 004 83	29.2483	0.036 861 28
1.95	18.5315	0.049 383 67	22.0540	0.045 268 37	30.0180	0.038 801 46
2.00	19.0067	0.051 916 32	22.6195	0.047 589 96	30.7877	0.040 791 40
2.05	19.4818	0.054 512 28	23.1850	0.049 969 59	31.5574	0.042 831 08
2.10	19.9570	0.057 171 57	23.7505	0.052 407 28	32.3271	0.044 920 52
2.15	20.4322	0.059 894 17	24.3160	0.054 902 99	33.0968	0.047 059 71
2.20	20.9073	0.062 680 10	24.8815	0.057 456 76	33.8664	0.049 248 65
2.25	21.3825	0.065 529 34	25.4470	0.060 068 56	34.6361	0.051 487 34
2.30	21.8577	0.068 441 90	26.0124	0.062 738 41	35.4058	0.053 775 78
2.35	22.3328	0.071 417 78	26.5779	0.065 466 30	36.1755	0.056 113 97
2.40	22.8080	0.074 456 99	27.1434	0.068 252 24	36.9452	0.058 501 92
2.45	23.2832	0.077 559 51	27.7089	0.071 096 22	37.7149	0.060 939 62
2.50	23.7583	0.080 725 35	28.2744	0.073 998 24	38.4846	0.063 427 07
2.55	24.2335	0.083 954 52	28.8399	0.076 958 31	39.2543	0.065 964 27
2.60	24.7087	0.087 247 00	29.4054	0.079 976 42	40.0240	0.068 551 22
2.65	25.1839	0.090 602 80	29.9709	0.083 052 57	40.7937	0.071 187 92
2.70	25.6590	0.094 021 93	30.5364	0.086 186 77	41.5634	0.073 874 37
2.75	26.1342	0.097 504 36	31.1018	0.089 379 00	42.3331	0.076 610 57
2.80	26.6094	0.101 050 13	31.6673	0.092 629 29	43.1027	0.079 396 53
2.85	27.0845	0.104 659 21	32.2328	0.095 937 61	43.8724	0.082 232 24
2.90	27.5597	0.108 331 62	32.7983	0.099 303 90	44.6421	0.085 117 70
2.95	28.0349	0.112 067 34	33.3638	0.102 728 39	45.4118	0.088 052 91
3.00	28.5100	0.115 866 38	33.9293	0.106 216 85	46.1815	0.091 037 87

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.15 Section *id.* 0mc.0176715		Diamèt. de la conduite 0m.16 Section *id.* 0mc.02010624		Diamèt. de la conduite 0m.1[illegible] Section *id.* 0mc.0254469[illegible]	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.01	0.1767	0.000 005 55	0.2011	0.000 005 21	0.2545	0.000 004 63
0.02	0.3534	0.000 012 96	0.4021	0.000 012 15	0.5089	0.000 010 80
0.03	0.5301	0.000 022 23	0.6032	0.000 020 84	0.7634	0.000 018 53
0.04	0.7069	0.000 033 35	0.8042	0.000 031 27	1.0179	0.000 027 79
0.05	0.8836	0.000 046 33	1.0053	0.000 043 43	1.2723	0.000 038 61
0.06	1.0603	0.000 061 16	1.2064	0.000 057 34	1.5268	0.000 050 97
0.07	1.2370	0.000 077 86	1.4074	0.000 073 00	1.7813	0.000 064 89
0.08	1.4137	0.000 096 41	1.6085	0.000 090 38	2.0358	0.000 080 34
0.09	1.5904	0.000 116 82	1.8096	0.000 109 52	2.2902	0.000 097 35
0.10	1.7671	0.000 139 09	2.0106	0.000 130 40	2.5447	0.000 115 91
0.11	1.9439	0.000 163 21	2.2117	0.000 153 02	2.7992	0.000 136 01
0.12	2.1206	0.000 189 19	2.4127	0.000 177 37	3.0536	0.000 157 66
0.13	2.2973	0.000 217 03	2.6138	0.000 203 47	3.3081	0.000 180 86
0.14	2.4740	0.000 246 73	2.8149	0.000 231 31	3.5626	0.000 205 61
0.15	2.6507	0.000 278 28	3.0159	0.000 260 89	3.8170	0.000 231 90
0.16	2,8274	0.000 311 69	3.2170	0.000 .292 22	4.0715	0.000 259 75
0.17	3.0042	0.000 346 96	3.4181	0.000 325 28	4.3260	0.000 289 14
0.18	3.1809	0.000 384 09	3.6191	0.000 360 08	4.5805	0.000 320 08
0.19	3.3576	0.000 423 07	3.8202	0.000 396 63	4.8349	0.000 352 56
0.20	3.5343	0.000 463 91	4.0212	0.000 434 92	5.0894	0.000 386 60
0.22	3.8877	0.000 551 17	4.4234	0.000 516 72	5.5983	0.000 459 34
0.25	4.4179	0.000 695 97	5.0266	0.000 652 48	6.3617	0.000 579 95
0.28	4.9480	0.000 857 50	5.6297	0.000 803 91	7.1251	0.000 714 59
0.30	5.3014	0.000 974 47	6.0319	0.000 913 57	7.6341	0.000 812 04
0.32	5.6549	0.001 098 87	6.4340	0.001 030 20	8.1430	0.000 915 71
0.35	6.1850	0.001 299 41	7.037	0.001 218 20	8.9064	0.001 082 84
0.38	6.7152	0.001 516 65	7.6404	0.001 421 87	9.6698	0.001 263 88
0.40	7.0686	0.001 670 77	8.0425	0.001 566 35	10.1788	0.001 392 31
0.42	7.4220	0.001 832 32	8.4446	0.001 717 80	10.6877	0.001 526 94
0.45	7.9522	0.002 088 57	9.0478	0.001 958 04	11.4511	0.001 740 48
0.48	8.4823	0.002 361 55	9.6510	0.002 213 95	12.2145	0.001 967 96
0.50	8.8357	0.002 552 81	10.0531	0.002 393 27	12.7235	0.002 127 35
0.55	9.7193	0.003 063 48	11.0584	0.002 872 02	13.9958	0.002 552 96
0.60	10.6029	0.003 620 59	12.0637	0.003 394 30	15.2682	0.003 017 16
0.65	11.4865	0.004 224 18	13.0690	0.003 960 12	16.5405	0.003 520 11
0.70	12.3700	0.004 874 11	14.0744	0.004 569 48	17.8129	0.004 061 76
0.75	13.2536	0.005 570 51	15.0797	0.005 222 36	19.0852	0.004 642 10
0.80	14.1372	0.006 313 36	16.0850	0.005 918 78	20.3576	0.005 261 14
0.85	15.0208	0.007 102 63	17.0903	0.006 658 72	21.6299	0,005 918 86
0.90	15.9043	0.007 938 35	18.0956	0.007 442 20	22.9023	0.006 615 29
0.95	16.7879	0.008 820 49	19.1009	0.008 269 22	24.1746	0.007 350 41

Vitesses moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.15 Section id. 0mc.0176715		Diamèt. de la conduite 0m.16 Section id. 0mc.02010624		Diamèt. de la conduite 0m.1 Section id. 0mc.0254469	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
1.00	17.6715	0.009 749 08	20.1062	0.009 139 77	25.4470	0.008 124 24
1.05	18.5550	0.010 724 09	21.1115	0.010 053 84	26.7193	0.008 936 75
1.10	19.4386	0.011 745 55	22.1169	0.011 011 45	27.9917	0.009 787 96
1.15	20.3222	0.012 813 43	23.1222	0.012 012 60	29.2640	0.010 677 86
1.20	21.2058	0.013 927 75	24.1275	0.013 057 27	30.5364	0.011 606 46
1.25	22.0893	0.015 088 51	25.1328	0.014 145 48	31.8087	0.012 573 76
1.30	22.9729	0.016 295 69	26.1381	0.015 277 22	33.0810	0.013 579 75
1.35	23.8565	0.017 549 32	27.1434	0.016 452 49	34.3534	0.014 624 44
1.40	24.7401	0.018 849 37	28.1487	0.017 671 29	35.6257	0.015 707 81
1.45	25.6237	0.020 195 87	29.1540	0.018 933 63	36.8981	0.016 829 89
1.50	26.5072	0.021 588 79	30.1594	0.020 239 50	38.1704	0.017 990 66
.55	27.3908	0.023 028 16	31.1647	0.021 588 90	39.4428	0.019 190 13
.60	28.2744	0.024 513 95	32.1700	0.022 981 83	40.7151	0.020 428 30
.65	29.1580	0.026 046 19	33.1753	0.024 418 30	41.9875	0.021 705 16
.70	30.0415	0.027 624 85	34.1806	0.025 898 30	43.2598	0.023 020 71
.75	30.9251	0.029 249 95	35.1859	0.027 421 83	44.5322	0.024 374 96
.80	31.8087	0.030 921 49	36.1912	0.028 988 90	45.8045	0.025 767 91
85	32.6922	0.032 639 45	37.1965	0.030 599 49	47.0769	0.027 199 55
90	33.5758	0.034 403 86	38.2019	0.032 253 62	48.3492	0.028 669 89
95	34.4594	0.036 214 69	39.2072	0.033 951 28	49.6216	0.030 178 91
00	35.3430	0.038 071 97	40.2125	0.035 692 47	50.8939	0.031 726 64
05	36.2265	0.039 975 67	41.2178	0.037 477 40	52.1663	0.033 313 06
10	37.1101	0.041 925 82	42.2231	0.039 305 46	53.4386	0.034 938 19
15	37.9937	0.043 922 39	43.2284	0.041 177 25	54.7110	0.036 602 00
20	38.8772	0.045 965 41	44.2337	0.043 092 57	55.9833	0.038 304 51
25	39.7608	0.048 054 85	45.2390	0.045 051 42	57.2557	0.040 045 71
[illegible]	40.6444	0.050 190 73	46.2443	0.047 053 81	58.5280	0.041 825 61
[illegible]	41.5279	0.052 373 04	47.2496	0.049 099 73	59.8004	0.043 644 20
40	42.4115	0.054 601 79	48.2550	0.051 189 18	61.0727	0.045 501 50
45	43.2951	0.056 876 97	49.2603	0.053 322 17	62.3451	0.047 397 48
50	44.1787	0.059 198 59	50.2656	0.055 498 68	63.6174	0.049 332 16
55	45.0623	0.061 566 65	51.2709	0.057 718 73	64.8897	0.051 305 54
60	45.9458	0.063 981 13	52.2762	0.059 982 32	66.1620	0.053 317 61
65	46.8294	0.066 442 05	53.2815	0.062 289 43	67.4344	0.055 368 38
70	47.7130	0.068 949 41	54.2868	0.064 640 08	68.7068	0.057 457 85
75	48.5966	0.071 503 20	55.2921	0.067 034 25	69.9791	0.059 586 00
80	49.4802	0.074 103 43	56.2975	0.069 471 97	71.2515	0.061 752 86
85	50.3637	0.076 750 09	57.3028	0.071 953 21	72.5238	0.063 958 41
90	51.2473	0.079 443 19	58.3081	0.074 477 99	73.7962	0.066 202 66
95	52.1309	0.082 182 71	59.3135	0.077 046 30	75.0685	0.068 485 60
00	53.0145	0.084 968 68	60.3187	0.079 638 14	76.3409	0.070 807 24

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite $0^{m}.20$ Section *id.* $0^{mc}.031416$		Diamèt. de la conduite $0^{m}.22$ Section *id.* $0^{mc}.03801336$		Diamèt. de la conduite $0^{m}.$ Section *id.* $0^{mc}.04523$	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.01	0.3142	0.000 004 17	0.3801	0.000 003 79	0.4524	0.000 003
0.02	0.6283	0.000 009 72	0.7603	0.000 008 84	0.9048	0.000 008
0.03	0.9425	0.000 016 67	1.1404	0.000 015 16	1.3572	0.000 013
0.04	1.2566	0.000 025 01	1.5205	0.000 022 74	1.8096	0.000 020
0.05	1.5708	0.000 034 75	1.9007	0.000 031 59	2.2619	0.000 028
0.06	1.8850	0.000 045 87	2.2808	0.000 041 70	2.7143	0.000 038
0.07	2.1991	0.000 058 40	2.6609	0.000 053 09	3.1667	0.000 048
0.08	2.5133	0.000 072 31	3.0411	0.000 065 73	3.6191	0.000 060
0.09	2.8274	0.000 087 62	3.4212	0.000 079 65	4.0715	0.000 073
0.10	3.1416	0.000 104 32	3.8013	0.000 094 83	4.5239	0.000 086
0.11	3.4558	0.000 122 41	4.1815	0.000 111 28	4.9763	0.000 102
0.12	3.7699	0.000 141 90	4.5616	0.000 129 00	5.4287	0.000 118
0.13	4.0841	0.000 162 78	4.9417	0.000 147 98	5.8811	0.000 135
0.14	4.3982	0.000 185 05	5.3219	0.000 168 23	6.3335	0.000 154
0.15	4.7124	0.000 208 71	5.7020	0.000 189 74	6.7859	0.000 173
0.16	5.0265	0.000 233 77	6.0821	0.000 212 52	7.2382	0.000 194
0.17	5.3407	0.000 260 22	6.4623	0.000 236 57	7.6906	0.000 216
0.18	5.6549	0.000 288 07	6.8424	0.000 261 88	8.1430	0.000 240
0.19	5.9690	0.000 317 30	7.2225	0.000 288 46	8.5954	0.000 264
0.20	6.2832	0.000 347 94	7.6027	0.000 316 31	9.0478	0.000 289
0.22	6.9116	0.000 413 38	8.3629	0.000 375 80	9.9526	0.000 344
0.25	7.8540	0.000 521 98	9.5033	0.000 474 53	11.3098	0.000 434
0.28	8.7964	0.000 643 13	10.6437	0.000 584 66	12.6669	0.000 535
0.30	9.4248	0.000 730 86	11.4040	0.000 664 42	13.5717	0.000 609
0.32	10.0531	0.000 824 16	12.1643	0.000 749 23	14.4765	0.000 686
0.35	10.9956	0.000 974 56	13.3047	0.000 885 96	15.8337	0.000 812
0.38	11.9380	0.001 137 49	14.4450	0.001 034 08	17.1908	0.000 947
0.40	12.5664	0.001 253 08	15.2053	0.001 139 17	18.0956	0.001 044
0.42	13.1947	0.001 374 24	15.9656	0.001 249 31	19.0004	0.001 145
0.45	14.1372	0.001 560 43	17.1060	0.001 424 03	20.3576	0.001 305
0.48	15.0797	0.001 771 16	18.2464	0.001 610 15	21.7147	0.001 475
0.50	15.7080	0.001 914 61	19.0067	0.001 740 56	22.6195	0.001 595
0.55	17.2788	0.002 297 61	20.9078	0.002 088 74	24.8815	0.001 914
0.60	18.8496	0.002 715 44	22.8080	0.002 468 58	27.1434	0.002 262
0.65	20.4204	0.003 168 10	24.7087	0.002 880 09	29.4054	0.002 640
0.70	21.9912	0.003 655 58	26.6094	0.003 323 26	31.6673	0.003 046
0.75	23.5620	0.004 177 89	28.5100	0.003 798 08	33.9293	0.003 481
0.80	25.1328	0.004 735 02	30.4107	0.004 304 57	36.1912	0.003 945
0.85	26.7036	0.005 326 98	32.3114	0.004 842 71	38.4532	0.004 438
0.90	28.2744	0.005 953 76	34.2120	0.005 412 51	40.7151	0.004 962
0.95	29.8452	0.006 615 37	36.1127	0.006 013 98	42.9771	0.005 512

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.20 Section *id.* 0mc.031416		Diamèt. de la conduite 0m.22 Section *id.* 0mc.03801336		Diamèt. de la conduite 0m.24 Section *id.* 0mc.04523904	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
1.00	31.4160	0.007 311 81	38.0134	0.006 647 10	45.2390	0.006 093 18
1.05	32.9868	0.008 043 07	39.9140	0.007 311 88	47.5010	0.006 702 56
1.10	34.5576	0.008 809 16	41.8147	0.008 008 33	49.7629	0.007 340 97
1.15	36.1284	0.009 610 08	43.7154	0.008 736 43	52.0249	0.008 008 40
1.20	37.6992	0.010 445 82	45.6160	0.009 496 20	54.2868	0.008 704 85
1.25	39.2700	0.011 316 38	47.5167	0.010 287 62	56.5488	0.009 430 32
1.30	40.8408	0.012 221 77	49.4174	0.011 110 70	58.8108	0.010 184 81
1.35	42.4116	0.013 161 99	51.3180	0.011 965 45	61.0727	0.010 968 33
1.40	43.9824	0.014 137 03	53.2187	0.012 851 85	63.3347	0.011 780 86
1.45	45.5532	0.015 146 90	55.1194	0.013 769 91	65.5966	0.012 622 42
1.50	47.1240	0.016 191 60	57.0200	0.014 719 63	67.8586	0.013 493 00
1.55	48.6948	0.017 271 12	58.9207	0.015 701 02	70.1205	0.014 392 60
1.60	50.2656	0.018 385 47	60.8214	0.016 714 06	72.3825	0.015 321 22
1.65	51.8364	0.019 534 64	62.7220	0.017 758 77	74.6444	0.016 278 87
1.70	53.4072	0.020 718 64	64.6227	0.018 835 13	76.9064	0.017 265 54
1.75	54.9780	0.021 937 47	66.5234	0.019 943 15	79.1683	0.018 281 22
1.80	56.5488	0.023 191 12	68.4240	0.021 082 83	81.4303	0.019 325 93
1.85	58.1196	0.024 479 59	70.3247	0.022 254 18	83.6922	0.020 399 66
1.90	59.6904	0.025 802 90	72.2254	0.023 457 18	85.9542	0.021 502 42
1.95	61.2612	0.027 161 02	74.1261	0.024 691 84	88.2161	0.022 634 19
2.00	62.8320	0.028 553 98	76.0267	0.025 958 16	90.4781	0.023 794 98
2.05	64.4028	0.029 981 76	77.9274	0.027 256 14	92.7400	0.024 984 80
2.10	65.9736	0.031 444 37	79.8281	0.028 585 79	95.0020	0.026 203 64
2.15	67.5444	0.032 941 80	81.7287	0.029 947 09	97.2639	0.027 451 50
2.20	69.1152	0.034 474 06	83.6294	0.031 340 05	99.5259	0.028 728 38
2.25	70.6860	0.036 041 14	85.5301	0.032 764 67	101.7878	0.030 034 28
2.30	72.2568	0.037 643 05	87.4307	0.034 220 95	104.0498	0.031 369 21
2.35	73.8276	0.039 279 78	89.3314	0.035 708 89	106.3117	0.032 733 15
2.40	75.3984	0.040 951 35	91.2321	0.037 228 50	108.5737	0.034 126 12
2.45	76.9692	0.042 657 73	93.1327	0.038 779 76	110.8356	0.035 548 11
2.50	78.5400	0.044 398 95	95.0334	0.040 362 68	113.0976	0.036 999 12
2.55	80.1108	0.046 174 99	96.9341	0.041 977 26	115.3595	0.038 479 16
2.60	81.6816	0.047 985 85	98.8347	0.043 623 50	117.6215	0.039 988 21
[illegible]	83.2524	0.049 831 54	100.7354	0.045 301 40	119.8835	0.041 526 29
[illegible]	84.8232	0.051 712 06	102.6361	0.047 010 97	122.1454	0.043 093 39
[illegible]	86.3940	0.053 627 40	104.5367	0.048 752 18	124.4074	0.044 689 50
[illegible]	87.9648	0.055 577 57	106.4374	0.050 525 07	126.6693	0.046 314 65
[illegible]	89.5356	0.057 562 57	108.3381	0.052 329 61	128.9313	0.047 968 81
[illegible]	91.1064	0.059 582 39	110.2387	0.054 165 81	131.1932	0.049 652 00
[illegible]	92.6772	0.061 637 04	112.1394	0.056 033 67	133.4552	0.051 364 20
[illegible]	94.2480	0.063 726 51	114.0401	0.057 933 19	135.7171	0.053 105 43

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite $0^{m}.25$ Section *id.* $0^{mc}.0490875$ — Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Diamèt. de la conduite $0^{m}.28$ Section *id.* $0^{mc}.06157536$ — Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Diamèt. de la conduite $0^{m}.$ Section *id.* $0^{mc}.0706$ — Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.01	0.4909	0.000 003 83	0.6158	0.000 002 98	0.7069	0.000 002
0.02	0.9817	0.000 007 78	1.2315	0.000 006 95	1.4137	0.000 006
0.03	1.4726	0.000 013 34	1.8473	0.000 011 91	2.1206	0.000 011
0.04	1.9635	0.000 020 01	2.4630	0.000 017 87	2.8274	0.000 016
0.05	2.4544	0.000 027 80	3.0788	0.000 024 82	3.5343	0.000 023
0.06	2.9452	0.000 036 70	3.6945	0.000 032 77	4.2412	0.000 030
0.07	3.4361	0.000 046 72	4.3103	0.000 041 71	4.9480	0.000 038
0.08	3.9270	0.000 057 84	4.9260	0.000 051 65	5.6549	0.000 048
0.09	4.4179	0.000 070 09	5.5418	0.000 062 59	6.3617	0.000 058
0.10	4.9087	0.000 083 45	6.1575	0.000 074 51	7.0686	0.000 069
0.11	5.3996	0.000 097 93	6.7733	0.000 087 44	7.7755	0.000 081
0.12	5.8905	0.000 113 52	7.3890	0.000 101 36	8.4823	0.000 094
0.13	6.3814	0.000 130 22	8.0048	0.000 116 27	9.1892	0.000 108
0.14	6.8722	0.000 148 04	8.6205	0.000 132 18	9.8960	0.000 123
0.15	7.3631	0.000 166 97	9.2363	0.000 149 08	10.6029	0.000 139
0.16	7.8540	0.000 187 02	9.8521	0.000 166 98	11.3098	0.000 155
0.17	8.3449	0.000 208 18	10.4678	0.000 185 88	12.0166	0.000 173
0.18	8.8357	0.000 230 45	11.0836	0.000 205 76	12.7235	0.000 192
0.19	9.3266	0.000 253 84	11.6993	0.000 226 64	13.4303	0.000 211
0.20	9.8175	0.000 278 35	12.3151	0.000 248 58	14.1372	0.000 231
0.22	10.7992	0.000 330 70	13.5466	0.000 295 27	15.5509	0.000 275
0.25	12.2719	0.000 417 58	15.3938	0.000 372 85	17.6715	0.000 347
0.28	13.7445	0.000 514 50	17.2411	0.000 459 38	19.7921	0.000 428
0.30	14.7262	0.000 584 68	18.4726	0.000 522 04	21.2058	0.000 487
0.32	15.7080	0.000 659 32	19.7041	0.000 588 69	22.6195	0.000 549
0.35	17.1806	0.000 779 64	21.5514	0.000 696 11	24.7401	0.000 649
0.38	18.6532	0.000 909 99	23.3986	0.000 812 50	26.8607	0.000 758
0.40	19.6350	0.001 002 46	24.6301	0.000 895 06	28.2744	0.000 835
0.42	20.6167	0.001 099 39	25.8616	0.000 981 60	29.6881	0.000 916
0.45	22.0894	0.001 253 14	27.7089	0 001 118 88	31.8087	0.001 043
0.48	23.5620	0.001 416 93	29.5562	0.001 265 12	33.9293	0.001 180
0.50	24.5437	0.001 531 69	30.7877	0.001 367 58	35.3430	0.001 276
0.55	26.9981	0.001 838 09	33.8664	0.001 641 15	38.8773	0.001 531
0.60	29.4525	0.002 172 35	36.9452	0.001 939 60	42.4116	0.001 810
0.65	31.9069	0.002 534 48	40.0240	0.002 262 93	45.9459	0.002 112
0.70	34.3612	0.002 924 46	43.1027	0.002 611 13	49.4802	0.002 437
0.75	36.8156	0.003 342 31	46.1815	0.002 984 21	53.0145	0.002 785
0.80	39.2700	0.003 788 02	49.2603	0.003 382 16	56.5488	0.003 156
0.85	41.7244	0.004 261 58	52.3391	0.003 804 99	60.0831	0.003 551
0.90	44.1787	0.004 763 01	55.4178	0.004 252 69	63.6174	0.003 969
0.95	46.6331	0.005 292 30	58.4966	0.004 725 27	67.1517	0.004 410

Vitesses moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.25 Section *id.* 0mc.0490875		Diamèt. de la conduite 0m.28 Section *id.* 0mc.06157536		Diamèt. de la conduite 0m.30 Section *id.* 0mc.070686	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
1.00	49.0875	0.005 849 45	61.5754	0.005 222 73	70.6860	0.004 874 54
1.05	51.5418	0.006 434 40	64.6541	0.005 745 05	74.2203	0.005 362 05
1.10	53.9962	0.007 047 33	67.7329	0.006 292 26	77.7546	0.005 872 78
1.15	56.4506	0.007 688 06	70.8117	0.006 864 34	81.2889	0.006 406 72
1.20	58.9050	0.008 356 65	73.8904	0.007 461 30	84.8232	0.006 963 88
1.25	61.3593	0.009 053 10	76.9692	0.008 083 13	88.3575	0.007 544 26
1.30	63.8137	0.009 777 42	80.0480	0.008 729 84	91.8918	0.008 147 85
1.35	66.2681	0.010 529 59	83.1267	0.009 401 43	95.4261	0.008 774 66
1.40	68.7225	0.011 309 62	86.2055	0.010 097 88	98.9604	0.009 424 69
1.45	71.1769	0.012 117 52	89.2843	0.010 819 22	102.4947	0.010 097 94
1.50	73.6312	0.012 953 28	92.3630	0.011 565 43	106.0290	0.010 794 40
1.55	76.0856	0.013 816 90	95.4418	0.012 336 52	109.5633	0.011 514 08
1.60	78.5400	0.014 708 37	98.5206	0.013 132 48	113.0976	0.012 256 98
1.65	80.9944	0.015 627 71	101.5993	0.013 953 32	116.6319	0.013 023 10
1.70	83.4487	0.016 574 91	104.6781	0.014 799 03	120.1662	0.013 812 43
1.75	85.9031	0.017 549 97	107.7569	0.015 669 62	123.7005	0.014 624 98
1.80	88.3575	0.018 552 89	110.8356	0.016 565 09	127.2348	0.015 460 75
1.85	90.8118	0.019 583 67	113.9144	0.017 485 43	130.7691	0 016 319 73
1.90	93.2662	0.020 642 32	116.9932	0.018 430 64	134.3034	0.017 201 93
1.95	95.7206	0.021 728 82	120.0719	0.019 400 73	137.8377	0.018 107 35
.00	98.1750	0.022 843 18	123.1507	0.020 395 70	141.8720	0.019 035 99
.05	100.6293	0.023 985 40	126.2295	0.021 415 54	144.9063	0.019 987 84
.10	103.0837	0.025 155 49	129.3083	0.022 460 26	148.4406	0.020 962 91
.15	105.5381	0.026 353 44	132.3870	0.023 529 85	151.9749	0.021 961 20
.20	107.9924	0.027 579 24	135.4658	0.024 624 33	155.5092	0.022 982 71
.25	110.4468	0.028 832 91	138.5446	0.025 743 67	159.0435	0.024 027 43
.30	112.9012	0.030 114 44	141.6233	0.026 887 89	162.5778	0.025 095 37
.35	115.3555	0.031 423 82	144.7021	0.028 056 99	166.1121	0.026 186 52
.40	117.8099	0.032 761 08	147.7809	0.029 250 96	169.6464	0.027 300 90
.45	120.2643	0.034 126 18	150.8596	0.030 469 81	173.1807	0.028 438 49
2.50	122.7187	0.035 519 16	153.9384	0.031 713 54	176.7150	0.029 599 30
2.55	125.1731	0.036 939 99	157.0172	0.032 982 14	180.2493	0.030 783 33
2.60	127.6274	0.038 388 68	160.0959	0.034 275 61	183.7836	0.031 990 57
2.65	130.0818	0.039 865 23	163.1747	0.035 593 96	187.3179	0.033 221 03
2.70	132.5362	0.041 369 65	166.2535	0.036 937 19	190.8522	0.034 474 71
.75	134.9906	0.042 901 92	169.3322	0.038 305 29	194.3865	0.035 751 60
.80	137.4450	0.044 462 06	172.4110	0.039 698 27	197.9208	0.037 051 72
.85	139.8993	0.046 050 05	175.4898	0.041 116 12	201.4551	0.038 375 05
[illegible]	142.3537	0.047 665 91	178.5685	0.042 558 85	204.9894	0.039 721 60
[illegible]	144.8081	0.049 309 63	181.6473	0.044 026 46	208.5237	0.041 091 36
[illegible]	147.2625	0.050 981 21	184.7261	0.045 518 94	212.0580	0.042 484 84

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.32 Section *id.* 0mc.08042496		Diamèt. de la conduite 0m.35 Section *id.* 0mc.0962115		Diamèt. de la conduite (Section *id.* 0mc.	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges p mètre de l de cond
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.01	0.8042	0.000 002 61	0.9621	0.000 002 38	1.1341	0.000 00
0.02	1.6085	0.000 006 08	1.9242	0.000 005 55	2.2682	0.000 00
0.03	2.4127	0.000 010 42	2.8863	0.000 009 53	3.4023	0.000 00
0.04	3.2170	0.000 015 64	3.8485	0.000 014 29	4.5364	0.000 01
0.05	4.0212	0.000 021 72	4.8106	0.000 019 85	5.6705	0.000 01
0.06	4.8255	0.000 028 67	5.7727	0.000 026 21	6.8046	0.000 02
0.07	5.6297	0.000 036 50	6.7348	0.000 033 37	7.9387	0.000 03
0.08	6.4340	0.000 045 19	7.6969	0.000 041 32	9.0728	0.000 03
0.09	7.2382	0.000 054 76	8.6590	0.000 050 07	10.2069	0.000 04
0.10	8.0425	0.000 065 20	9.6211	0.000 059 61	11.3410	0.000 05
0.11	8.8467	0.000 076 51	10.5833	0.000 069 95	12.4751	0.000 06
0.12	9.6510	0.000 088 69	11.5454	0.000 081 08	13.6092	0.000 07
0 13	10.4552	0.000 101 74	12.5075	0.000 093 01	14.7433	0.000 08
0.14	11.2595	0.000 115 66	13.4696	0.000 105 74	15.8774	0.000 09
0.15	12.0637	0.000 130 45	14.4317	0.000 119 26	17.0115	0.000 10
0.16	12.8680	0.000 146 11	15.3938	0.000 133 58	18.1456	0.000 12
0.17	13.6722	0.000 162 64	16.3560	0.000 148 70	19.2797	0.000 13
0.18	14.4765	0.000 180 04	17.3181	0.000 164 61	20.4138	0.000 15
0.19	15.2807	0.000 198 32	18.2802	0.000 181 31	21.5479	0.000 16
0.20	16.0850	0.000 217 46	19.2423	0.000 198 82	22.6820	0.000 18
0.22	17.6935	0.000 258 36	21.1665	0.000 236 21	24.9502	0.000 21
0.25	20.1062	0.000 326 24	24.0529	0.000 298 27	28.3525	0.000 27
0.28	22.5190	0.000 401 96	26.9392	0.000 367 50	31.7548	0.000 33
0.30	24.1275	0.000 456 79	28.8634	0.000 417 63	34.0230	0.000 38
0.32	25.7360	0.000 515 10	30.7877	0.000 470 95	36.2912	0.000 43
0.35	28.1487	0.000 609 10	33.6740	0.000 556 89	39.6935	0.000 51
0.38	30.5615	0.000 710 94	36.5604	0.000 649 90	43.0958	0.000 59
0.40	32.1700	0.000 783 18	38.4846	0.000 716 05	45.3640	0.000 65
0.42	33.7785	0.000 858 90	40.4088	0.000 785 28	47.6322	0.000 72
0.45	36.1912	0.000 979 02	43.2952	0.000 895 10	51.0345	0.000 82
0.48	38.6040	0.001 106 98	46.1815	0.001 012 09	54.4368	0.000 93
0.50	40.2125	0.001 196 64	48.1057	0.001 094 06	56.7050	0.001 00
0.55	44.2337	0.001 436 01	52.9163	0.001 312 92	62.3755	0.001 20
0.60	48.2550	0.001 697 15	57.7269	0.001 551 68	68.0460	0.001 42
0.65	52.2762	0.001 980 06	62.5375	0.001 810 34	73.7165	0.001 66
0.70	56.2975	0.002 284 74	67.3480	0.002 088 90	79.3870	0.001 92
0.75	60.3187	0.002 611 18	72.1586	0.002 387 36	85.0575	0.002 19
0.80	64.3400	0.002 959 39	76.9692	0.002 705 73	90.7280	0.002 49
0.85	68.3612	0.003 329 36	81.7798	0.003 043 99	96.3985	0.002 80
0.90	72.3825	0.003 721 10	86.5903	0.003 402 15	102.0690	0.003 13
0.95	76.4037	0.004 134 61	91.4009	0.003 780 21	107.7395	0.003 48

moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.32 Section *id.* 0mc.08042496		Diamèt. de la conduite 0m.35 Section *id.* 0mc.0962115		Diamèt. de la conduite 0m.38 Section *id.* 0mc.11341	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
L	l.	m.	l.	m.	l.	m.
00	80.4250	0.004 569 89	96.2115	0.004 178 18	113.4100	0.003 848 32
05	84.4462	0.005 026 92	101.0221	0.004 596 04	119.0805	0.004 233 19
10	88.4675	0.005 505 73	105.8326	0.005 033 81	124.7510	0.004 636 40
15	92.4887	0.006 006 30	110.6432	0.005 491 47	130.4215	0.005 057 93
20	96.5100	0.006 528 64	115.4538	0.005 969 04	136.0920	0.005 497 80
25	100.5312	0.007 072 74	120.2644	0.006 466 50	141.7625	0.005 955 99
.30	104.5524	0.007 638 61	125.0749	0.006 983 87	147.4330	0.006 432 51
.35	108.5737	0.008 226 25	129.8855	0.007 521 14	153.1035	0.006 927 36
.40	112.5949	0.008 835 65	134.6961	0.008 078 30	158.7740	0.007 440 54
.45	116.6162	0.009 466 82	139.5067	0.008 655 37	164.4445	0.007 972 05
.50	120.6374	0.010 119 75	144.3172	0.009 252 34	170.1150	0.008 521 89
55	124.6587	0.010 794 45	149.1278	0.009 869 21	175.7855	0.009 090 06
60	128.6799	0.011 490 92	153.9384	0.010 505 98	181.4560	0.009 676 56
65	132.7012	0.012 209 15	158.7490	0.011 162 65	187.1265	0.010 281 39
70	136.7224	0.012 949 15	163.5595	0.011 839 22	192.7970	0.010 904 55
75	140.7437	0.013 710 92	168.3701	0.012 535 69	198.4675	0.011 546 03
80	144.7649	0.014 494 45	173.1807	0.013 252 07	204.1380	0.012 205 85
85	148.7862	0.015 299 75	177.9913	0.013 988 34	209.8085	0.012 884 00
90	152.8074	0.016 126 81	182.8018	0.014 744 51	215.4790	0.013 580 47
95	156.8287	0.016 975 64	187.6124	0.015 520 58	221.1495	0.014 295 27
00	160.8499	0.017 846 24	192.4230	0.016 316 56	226.8200	0.015 028 41
05	164.8712	0.018 738 70	197.2336	0.017 132 43	232.4905	0.015 779 87
10	168.8924	0.019 652 73	202.0441	0.017 968 21	238.1610	0.016 549 67
15	172.9137	0.020 588 63	206.8547	0.018 823 88	243.8315	0.017 337 79
20	176.9349	0.021 546 29	211.6653	0.019 699 46	249.5020	0.018 144 24
25	180.9562	0.022 525 71	216.4759	0.020 594 93	255.1725	0.018 969 02
30	184.9774	0.023 526 90	221.2864	0.021 510 31	260.8430	0.019 812 13
35	188.9987	0.024 549 87	226.0970	0.022 445 59	266.5135	0.020 673 57
.40	193.0199	0.025 594 59	230.9076	0.023 400 77	272.1840	0.021 553 34
.45	197.0412	0.026 661 09	235.7182	0.024 375 85	277.8545	0.022 451 44
.50	201.0624	0.027 749 34	240.5287	0.025 370 83	283.5250	0.023 367 86
.55	205.0836	0.028 859 37	245.3393	0.026 385 71	289.1955	0.024 302 62
.60	209.1048	0.029 991 16	250.1499	0.027 420 49	294.8660	0.025 255 71
.65	213.1261	0.031 144 72	254.9604	0.028 475 17	300.5365	0.026 227 13
.70	217.1473	0.032 320 04	259.7710	0.029 549 75	306.2070	0.027 216 87
.75	221.1686	0.033 517 13	264.5816	0.030 644 23	311.8775	0.028 224 95
.80	225.1898	0.034 735 99	269.3922	0.031 758 61	317.5480	0.029 251 35
.85	229.2111	0.035 976 61	274.2027	0.032 892 89	323.2185	0.030 296 09
.90	233.2324	0.037 239 00	279.0133	0.034 047 08	328.8890	0.031 359 15
.95	237.2536	0.038 523 15	283.8239	0.035 221 16	334.5595	0.032 440 54
.00	241.2749	0.039 829 07	288.6345	0.036 415 15	340.2300	0.033 540 27

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite $0^{m}.40$ Section *id.* $0^{mc}.125664$		Diamèt. de la conduite $0^{m}.42$ Section *id.* $0^{mc}.13854456$		Diamèt. de la conduite Section *id.* $0^{mc}.15$	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de condu
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.01	1.2566	0.000 002 09	1.3854	0.000 001 98	1.5904	0.000 00
0.02	2.5133	0.000 004 86	2.7709	0.000 004 63	3.1809	0.000 0
0.03	3.7699	0.000 008 34	4.1563	0.000 007 94	4.7713	0.000 0
0.04	5.0266	0.000 012 51	5.5418	0.000 011 91	6.3617	0.000 01
0.05	6.2832	0.000 017 38	6.9272	0.000 016 55	7.9522	0.000 01
0.06	7.5398	0.000 022 94	8.3127	0.000 021 84	9.5426	0.000 02
0.07	8.7965	0.000 029 20	9.6981	0.000 027 81	11.1330	0.000 02
0.08	10.0531	0.000 036 16	11.0836	0.000 034 43	12.7235	0.000 03
0.09	11.3098	0.000 043 81	12.4690	0.000 041 72	14.3139	0.000 03
0.10	12.5664	0.000 052 16	13.8545	0.000 049 67	15.9043	0.000 04
0.11	13.8230	0.000 061 21	15.2399	0.000 058 29	17.4948	0.000 05
0.12	15.0797	0.000 070 95	16.6253	0.000 067 57	19.0852	0.000 0
0.13	16.3363	0.000 081 39	18.0108	0.000 077 51	20.6757	0.000 07
0.14	17.5930	0.000 092 53	19.3962	0.000 088 12	22.2661	0.000 0
0.15	18.8496	0.000 104 36	20.7817	0.000 099 39	23.8565	0.000 0
0.16	20.1062	0.000 116 89	22.1671	0.000 111 32	25.4470	0.000 1
0.17	21.3629	0.000 130 11	23.5526	0.000 123 92	27.0374	0.000 1
0.18	22.6195	0.000 144 04	24.9380	0.000 137 17	28.6278	0.000 1
0.19	23.8762	0.000 158 65	26.3235	0.000 151 09	30.2183	0.000 1
0.20	25.1328	0.000 173 97	27.7089	0.000 165 72	31.8087	0.000 1
0.22	27.6461	0.000 206 69	30.4798	0.000 196 85	34.9896	0.000 1
0.25	31.4160	0.000 260 99	34.6361	0.000 248 56	39.7609	0.000 2
0.28	35.1859	0.000 321 57	38.7925	0.000 306 25	44.5322	0.000 2
0.30	37.6992	0.000 365 43	41.5634	0.000 348 03	47.7130	0.000 3
0.32	40.2125	0.000 412 08	44.3343	0.000 392 46	50.8939	0.000 3
0.35	43.9824	0.000 487 28	48.4906	0.000 464 07	55.6652	0.000 4
0.38	47.7523	0.000 568 75	52.6469	0.000 541 66	60.4365	0.000 5
0.40	50.2656	0.000 626 54	55.4178	0.000 596 71	63.6174	0.000 5
0.42	52.7789	0.000 687 12	58.1887	0.000 654 40	66.7983	0.000 6
0.45	56.5488	0.000 783 22	62.3451	0.000 745 92	71.5696	0.000 6
0.48	60.3187	0.000 885 58	66.5014	0.000 843 41	76.3409	0.000 7
0.50	62.8320	0.000 957 31	69.2723	0.000 911 72	79.5217	0.000 8
0.55	69.1152	0.001 148 81	76.1995	0.001 094 10	87.4739	0.001 0
0.60	75.3984	0.001 357 72	83.1267	0.001 293 07	95.4261	0.001 2
0.65	81.6816	0.001 584 05	90.0540	0.001 508 62	103.3783	0.001 4
0.70	87.9648	0.001 827 79	96.9812	0.001 740 75	111.3304	0.001 6
0.75	94.2480	0.002 088 95	103.9084	0.001 989 47	119.2826	0.001 8
0.80	100.5312	0.002 367 51	110.8356	0.002 254 77	127.2348	0.002 1
0.85	106.8144	0.002 663 49	117.7629	0.002 536 66	135.1870	0.002 3
0.90	113.0976	0.002 976 88	124.6901	0.002 835 12	143.1391	0.002 6
0.95	110.3808	0.003 307 69	131.6173	0.003 130 18	151.0913	0.002 9

moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.40 Section *id.* 0mc.125664		Diamèt. de la conduite 0m.42 Section *id.* 0mc.13854456		Diamèt. de la conduite 0m.45 Section *id.* 0mc.1590435	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0	125.6640	0.003 635 91	138.5446	0.003 481 82	159.0435	0.003 249 69
5	131.9472	0.004 021 54	145.4718	0.003 830 03	166.9957	0.003 574 70
0	138.2304	0.004 404 58	152.3990	0.004 194 84	174.9478	0.003 915 18
5	144.5136	0.004 805 04	159.3262	0.004 576 23	182.9900	0.004 271 14
0	150.7968	0.005 222 91	166.2535	0.004 974 20	190.8522	0.004 642 58
5	157.0800	0.005 658 19	173.1807	0.005 388 75	198.8044	0.005 029 50
0	163.3632	0.006 110 88	180.1070	0.005 819 89	206.7565	0.005 431 90
5	169.6464	0.006 581 00	187.0352	0.006 267 62	214.7087	0.005 849 77
0	175.9296	0.007 068 52	193.9624	0.006 731 92	222.6609	0.006 283 12
5	182.2128	0.007 573 45	200.8896	0.007 212 81	230.6131	0.006 731 96
0	188.4960	0.008 095 80	207.8168	0.007 710 28	238.5652	0.007 196 26
	194.7792	0.008 635 56	214.7441	0.008 224 34	246.5174	0.007 676 05
	201.0624	0.009 192 74	221.6713	0.008 754 98	254.4696	0.008 171 32
	207.3456	0.009 767 32	228.5985	0.009 302 21	262.4218	0.008 682 06
	213.6288	0.010 359 32	235.5258	0.009 866 02	270.3739	0.009 208 28
	219.9120	0.010 968 74	242.4530	0.010 446 41	278.3261	0.009 749 98
	226.1952	0.011 595 56	249.3802	0.011 043 39	286.2783	0.010 307 16
	232.4784	0.012 239 80	256.3074	0.011 656 95	294.2305	0.010 879 82
	238.7616	0.012 901 45	263.2347	0.012 287 09	302.1826	0.011 467 95
	245.0448	0.013 580 51	270.1619	0.012 933 82	310.1348	0.012 071 56
	251.3280	0.014 276 99	277.0891	0.013 597 13	318.0870	0.012 690 66
	257.6112	0.014 990 88	284.0164	0.014 277 03	326.0392	0.013 325 22
	263.8944	0.015 722 19	290.9436	0.014 973 51	333.9913	0.013 975 27
	269.1776	0.016 470 90	297.8708	0.015 686 57	341.9435	0.014 640 80
	276.4608	0.017 237 03	304.7980	0.016 416 22	349.8957	0.015 321 80
	282.7440	0.018 020 57	311.7253	0.017 162 45	357.8479	0.016 018 28
	289.0272	0.018 821 53	318.6525	0.017 925 26	365.8000	0.016 730 24
	295.3104	0.019 639 89	325.5797	0.018 704 66	373.7522	0.017 457 68
	301.5936	0.020 475 68	332.5069	0.019 500 64	381.5044	0.018 200 60
	307.8768	0.021 328 87	339.4342	0.020 313 21	389.6566	0.018 958 99
	314.1600	0.022 199 48	346.3614	0.021 142 36	397.6087	0.019 732 86
	320.4432	0.023 087 50	353.2886	0.021 988 09	405.5609	0.020 522 22
	326.7264	0.023 992 93	360.2159	0.022 850 41	413.5131	0.021 327 04
	333.0096	0.024 915 77	367.1431	0.023 729 31	421.4652	0.022 147 35
	339.2928	0.025 856 03	374.0703	0.024 624 79	429.4174	0.022 983 14
	345.5760	0.026 813 70	380.9975	0.025 536 86	437.3696	0.023 834 46
	351.8592	0.027 788 79	387.9248	0.026 465 51	445.3218	0.024 701 14
	358.1424	0.028 781 29	394.8520	0.027 410 75	453.2739	0.025 583 36
	364.4256	0.029 791 20	401.7792	0.028 372 57	461.2261	0.026 481 96
	370.7088	0.030 818 52	408.7064	0.029 350 97	469.1783	0.027 394 24
	376.9920	0.031 863 26	415.6837	0.030 345 96	477.1305	0.028 322 89

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.48 Section *id.* 0mc.18095616		Diamèt. de la conduite 0m.50 Section *id.* 0mc.19635		Diamèt. de la conduit Section *id.* 0mc.1	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charg mètre de l de co
m.	l.	m.	l.	m.	l.	m.
0.01	1.8096	0.000 001 74	1.9635	0.000 001 67	2.3758	0.000
0.02	3.6191	0.000 004 05	3.9270	0.000 003 89	4.7517	0.000
0.03	5.4287	0.000 006 95	5.8905	0.000 006 67	7.1275	0.000
0.04	7.2382	0.000 010 43	7.8540	0.000 010 01	9.5033	0.000
0.05	9.0478	0.000 014 48	9.8175	0.000 013 90	11.8792	0.000
0.06	10.8574	0.000 019 12	11.7810	0.000 018 35	14.2550	0.000
0.07	12.6669	0.000 024 34	13.7445	0.000 023 36	16.6308	0.000
0.08	14.4765	0.000 030 13	15.7080	0.000 028 92	19.0067	0.000
0.09	16.2861	0.000 036 51	17.6715	0.000 035 05	21.3825	0.000
0.10	18.0956	0.000 043 47	19.6350	0.000 041 73	23.7583	0.000
0.11	19.9052	0.000 051 01	21.5985	0.000 048 97	26.1342	0.000
0.12	21.7147	0.000 059 13	23.5620	0.000 056 76	28.5100	0.000
0.13	23.5243	0.000 067 83	25.5255	0.000 065 11	30.8859	0.000
0.14	25.3339	0.000 077 11	27.4890	0.000 074 02	33.2617	0.000
0.15	27.1434	0.000 086 97	29.4525	0.000 083 49	35.6375	0.000
0.16	28.9530	0.000 097 41	31.4160	0.000 093 51	38.0134	0.000
0.17	30.7625	0.000 108 43	33.3795	0.000 104 09	40.3892	0.000
0.18	32.5721	0.000 120 03	35.3430	0.000 115 23	42.7650	0.000
0.19	34.3817	0.000 132 21	37.3065	0.000 126 92	45.1409	0.000
0.20	36.1912	0.000 144 98	39.2700	0.000 139 17	47.5167	0.000
0.22	39.8104	0.000 172 24	43.1970	0.000 165 35	52.2684	0.000
0.25	45.2390	0.000 217 50	49.0875	0.000 208 79	59.3959	0.000
0.28	50.6677	0.000 267 97	54.9780	0.000 257 25	66.5234	0.000
0.30	54.2868	0.000 304 53	58.9050	0.000 292 34	71.2750	0 000
0.32	57.9060	0.000 343 40	62.8320	0.000 329 66	76.0267	0.000
0.35	63.3347	0.000 406 07	68.7225	0.000 389 82	83.1542	0.000
0.38	68.7633	0.000 473 96	74.6130	0.000 455 00	90.2817	0.000
0.40	72.3825	0.000 522 12	78.5400	0.000 501 23	95.0334	0.000
0.42	76.0016	0.000 572 60	82.4670	0.000 549 70	99.7851	0.000
0.45	81.4303	0.000 652 68	88.3575	0.000 626 57	106.9126	0.000
0.48	86.8590	0.000 737 99	94.2480	0.000 708 47	114.0401	0.000
0.50	90.4781	0.000 797 76	98.1750	0.000 765 84	118.7917	0.000
0.55	99.5259	0.000 957 34	107.9025	0.000 919 04	130.6709	0.00
0.60	108.5737	0.001 131 44	117.8100	0.001 086 18	142.5501	0.00
0.65	117.6215	0.001 320 04	127.6275	0.001 267 24	154.4293	0.00
0.70	126.6693	0.001 523 16	137.4450	0.001 462 23	166.3084	0.00
0.75	135.7171	0.001 740 79	147.2625	0.001 671 15	178.1876	0.00
0.80	144.7649	0.001 972 93	157.0800	0.001 894 01	190.0668	0.00
0.85	153.8127	0.002 219 58	166.8975	0.002 130 79	201.9460	0.00
0.90	162.8605	0.002 480 74	176.7150	0.002 381 50	213.8251	0.00
0.95	171.9084	0.002 756 41	186.5325	0.002 646 15	225.7043	0.00

Diamèt. de la conduite 0m.48 Section id. 0mc.18095616		Diamèt. de la conduite 0m.50 Section id. 0mc.19635		Diamèt. de la conduite 0m.55 Section id. 0mc.2375835	
Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
l	m.	l.	m.	l.	m.
180.9562	0.003 046 59	196.3500	0.002 924 72	237.5835	0.002 658 84
190.0040	0.003 351 28	206.1675	0.003 217 23	249.4627	0.002 924 75
199.0518	0.003 670 49	215.9850	0.003 523 66	261.3418	0.003 203 33
208.0996	0.004 004 20	225.8025	0.003 844 03	273.2210	0.003 494 57
217.1474	0.004 352 43	235.6200	0.004 178 33	285.1002	0.003 798 48
226.1952	0.004 715 16	245.4375	0.004 526 55	296.9794	0.004 115 05
235.2430	0.005 092 41	255.2550	0.004 888 71	308.8585	0.004 444 28
244.2908	0.005 484 17	265.0725	0.005 264 80	320.7377	0.004 786 18
253.3386	0.005 890 43	274.8900	0.005 654 81	332.6169	0.005 140 74
262.3864	0.006 311 21	284.7075	0.006 058 76	344.4961	0.005 507 96
271.4342	0.006 746 50	294.5250	0.006 476 64	356.3752	0.005 887 85
280.4820	0.007 196 30	304.3425	0.006 908 45	368.2544	0.006 280 41
289.5299	0.007 660 61	314.1600	0.007 354 19	380.1336	0.006 685 62
298.5777	0.008 139 44	323.9775	0.007 813 86	392.0128	0.007 103 51
307.6255	0.008 632 77	333.7950	0.008 287 46	403.8919	0.007 534 05
316.6733	0.009 140 61	343.6125	0.008 774 99	415.7711	0.007 977 26
325.7211	0.009 662 97	353.4300	0.009 276 45	427.6503	0.008 433 13
334.7689	0.010 199 83	363.2475	0.009 791 84	439.5295	0.008 901 67
343.8167	0.010 751 21	373.0650	0.010 321 16	451.4086	0.009 382 87
352.8645	0.011 317 10	382.8825	0.010 864 41	463.2878	0.009 876 73
361.9123	0.011 897 49	392.7000	0.011 421 59	475.1670	0.010 383 26
370.9601	0.012 492 40	402.5175	0.011 992 70	487.0462	0.010 902 46
380.0079	0.013 101 82	412.3350	0.012 577 75	498.9253	0.011 434 31
389.0557	0.013 725 75	422.1525	0.013 176 72	510.8045	0.011 978 88
398.1036	0.014 364 19	431.9700	0.013 789 62	522.6837	0.012 536 02
407.1514	0.015 017 14	441.7875	0.014 416 45	534.5629	0.013 105 87
416.1992	0.015 684 61	451.6050	0.015 057 22	546.4420	0.013 688 38
425.2470	0.016 366 58	461.4225	0.015 711 91	558.3212	0.014 283 56
434.2948	0.017 063 06	471.2400	0.016 380 54	570.2004	0.014 891 40
443.3426	0.017 774 06	481.0575	0.017 063 09	582.0796	0.015 511 90
452.3904	0.018 499 56	490.8750	0.017 759 58	593.9587	0.016 145 07
461.4382	0.019 239 58	500.6925	0.018 469 99	605.8379	0.016 790 90
470.4860	0.019 994 11	510.5100	0.019 194 34	617.7171	0.017 449 40
479.5338	0.020 763 15	520.3275	0.019 932 62	629.5962	0.018 120 56
488.5816	0.021 546 70	530.1450	0.020 684 82	641.4754	0.018 804 39
497.6294	0.022 344 75	539.9625	0.021 450 96	653.3546	0.019 500 87
506.6772	0.023 157 83	549.7800	0.022 231 03	665.2337	0.020 210 03
515.7251	0.023 984 41	559.5975	0.023 025 03	677.1129	0.020 931 84
524.7729	0.024 826 00	569.4150	0.023 832 96	688.9921	0.021 666 32
533.8207	0.025 682 10	579.2325	0.024 654 81	700.8713	0.022 413 47
542.8685	0.026 552 72	589.0500	0.025 490 60	712.7505	0.023 173 28

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.60 Section *id.* 0mc.282744 — Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.	VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0m.6 Section *id.* 0mc.28274 — Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m.	l.	m.	m.	l.	m.
0.01	2.8274	0.000 001 39	1.00	282.7440	0.002 437 27
0.02	5.6549	0.000 003 24	1.05	296.8812	0.002 681 02
0.03	8.4823	0.000 005 56	1.10	311.0184	0.002 936 39
0.04	11.3098	0.000 008 34	1.15	325.1556	0.003 203 36
0.05	14.1372	0.000 011 58	1.20	339.2928	0.003 481 94
0.06	16.9646	0.000 015 29	1.25	353.4300	0.003 772 13
0.07	19.7921	0.000 019 47	1.30	367.5672	0.004 073 92
0.08	22.6195	0.000 024 10	1.35	381.7044	0.004 387 33
0.09	25.4470	0.000 029 21	1.40	395.8416	0.004 712 34
0.10	28.2744	0.000 034 77	1.45	409.9788	0.005 048 97
0.11	31.1018	0.000 040 80	1.50	424.1160	0.005 397 20
0.12	33.9293	0.000 047 30	1.55	438.2532	0.005 757 04
0.13	36.7567	0.000 054 26	1.60	452.3904	0.006 128 49
0.14	39.5842	0.000 061 68	1.65	466.5276	0.006 511 55
0.15	42.4116	0.000 069 57	1.70	480.6648	0.006 906 21
0.16	45.2390	0.000 077 92	1.75	494.8020	0 007 312 49
0.17	48.0665	0.000 086 74	1.80	508.9392	0.007 730 37
0.18	50.8939	0.000 096 02	1.85	523.0764	0.008 159 86
0.19	53.7214	0.000 105 77	1.90	537.2136	0.008 600 97
0.20	56.5488	0.000 115 98	1.95	551.3508	0.009 053 67
0.22	62.2037	0.000 137 79	2.00	565.4880	0.009 517 99
0.25	70.6860	0.000 173 99	2.05	579.6252	0.009 993 92
0.28	79.1683	0.000 214 38	2.10	593.7624	0.010 481 46
0.30	84.8232	0.000 243 62	2.15	607.8996	0.010 980 60
0.32	90.4781	0.000 274 72	2.20	622.0368	0 011 491 35
0.35	98.9604	0.000 324 85	2.25	636.1740	0.012 013 71
0.38	107.4427	0.000 379 16	2.30	650.3112	0.012 547 68
0.40	113.0976	0.000 417 60	2.35	664.4484	0.013 093 26
0.42	118.7525	0.000 458 08	2.40	678.5856	0.013 650 45
0.45	127.2348	0.000 522 14	2.45	692.7228	0.014 219 24
0.48	135.7171	0.000 590 39	2.50	706.8600	0.014 799 65
0.50	141.3720	0.000 638 20	2.55	720.9972	0.015 391 66
0.55	155.5092	0.000 765 87	2.60	735.1344	0.016 995 28
0.60	169.6464	0.000 905 15	2.65	749.2716	0.016 610 51
0.65	183.7836	0.001 056 03	2.70	763.4088	0.017 237 35
0.70	197.9208	0.001 218 53	2.75	777.5460	0.017 875 80
0.75	212.0580	0.001 392 63	2.80	791.6832	0.018 525 86
0.80	226.1952	0.001 578 34	2.85	805.8204	0.019 187 52
0.85	240.3324	0.001 775 66	2.90	819.9576	0.019 860 80
0.90	254.4696	0.001 984 59	2.95	834.0948	0.020 545 68
0.95	268.6068	0.002 205 12	3.00	848.2320	0.021 242 17

La table précédente va nous servir à résoudre quelques problèmes nt la solution serait assez longue avec le secours seul de la table Prony ou de celle de M. de Saint-Venant (175) (Voir nos 185 et 186.

179. 1er PROBLÈME. *Soit* (problème déjà résolu au n° 177) *à déterminer le diamètre d'une conduite de* 5000 *mètres de longueur, capable débiter* 60 *mètres cubes d'eau par heure, ou* 16,6667 *litres par seconde, la charge totale étant de* 5 *mètres, ce qui fait* 0m,001 *par mètre longueur de conduite.*

On cherche, en considérant successivement les différents diamètres de la table, quel est le plus petit de ces diamètres capable de dépenser le volume 16l,6667 par seconde, ou le volume immédiatement périeur, sans que la charge correspondante dépasse 0m,001, et ce us petit diamètre est celui qu'il convient d'employer.

Considérant le diamètre 0m,20, on voit que la dépense 17l,2788, immédiatement supérieure à 16l,6667, correspond à une charge de 0m,00229761 par mètre de longueur de conduite; le diamètre 0m,20 t donc trop faible.

Pour le diamètre 0m,22, la dépense 17l,1060 correspondant à la arge 0m,00142403, ce diamètre n'est pas encore assez grand.

Pour le diamètre 0m,24, la dépense 17l,1908 correspondant à la arge 0m,00094791, ce diamètre est plus que suffisant pour produire débit 16l,6667 sous une charge de 0m,001; mais l'excès de dépense 'il pourra produire compensera les dépôts dont il a déjà été question (177). Puisque le diamètre 0m,24 satisfait aux conditions du problème, à plus forte raison les diamètres supérieurs devront-ils y satisfaire.

180. 2e PROBLÈME. Ce problème et ceux qui suivent ne sont autre ose que la réunion de plusieurs analogues au précédent (179), et résolvent en suivant la même marche que pour ce premier.

Il s'agit, au moyen d'une machine à vapeur, d'élever par heure mètres cubes d'eau à 25m,00 *de hauteur au-dessus du niveau du isard des pompes; la longueur totale de la conduite, qui a un diamètre constant sur toute sa longueur, est de* 1000 *mètres; on demande el diamètre on devra donner à la conduite, sachant qu'elle n'alimente ucun branchement sur son parcours.*

Si l'on n'avait à considérer que les frais d'établissement de la conduite, il est évident que l'on devrait adopter le plus petit diamètre pable de débiter 60 mètres cubes par heure ou 16l,6667 par seconde, ns que la vitesse moyenne dépassât 3m,00 par seconde (176), mais mme la charge à vaincre et par suite la force de la machine augmentent à mesure que le diamètre de la conduite diminue, il faut, ur résoudre le plus convenablement possible le problème en question, dresser un tableau des prix d'établissement des différentes conduites et des machines qui leur sont nécessaires, et faire entrer dans

la comparaison de ces prix les intérêts des sommes dépensées ainsi que les dépenses annuelles de charbon et d'entretien; il faut avoir égard aussi au renouvellement du matériel.

On doit donc se rendre compte de la force des machines pour les différents diamètres susceptibles d'être employés. Le plus petit des diamètres dont on peut faire usage est $0^m,09$, lequel, pour une dépense de $16^l,8586$, exige une charge de $0^m,11073676$ par mètre de longueur de conduite. La charge, à très-peu près exacte, pour le volume $16^l,6667$ que doit dépenser la conduite, s'obtient par une simple proportion : on remarque que pour la différence $0^l,3181$, des deux dépenses successives $16^l,8586$ et $16^l,5405$ de la table, la différence de charge par mètre de longueur de conduite est $0^m,11073676 - 0^m,10663522 = 0^m,00410154$ ou à peu près $0^m,0041$; alors, pour la différence $16^l,8586 - 16^l,6667 = 0^l,1919$, on conclura la différence de charge x de la proportion

$$0,3181 : 0,1919 = 0,0041 : x,$$

qui donne $x = 0^m,002473$. La charge correspondant à la dépense $16^l,6667$ est donc $0^m,11073676 - 0^m,002473 = 0^m,10826$ environ. Pour les 1000 mètres de longueur de conduite, la charge sera alors de $108^m,26$, auxquels il faut encore ajouter les 25 mètres d'élévation de l'eau, ce qui donne une charge totale définitive de $133^m,26$. L'effet utile de la machine, non compris le frottement des pompes, sera donc de $133,26 \times 60000 = 7995600$ kilogrammètres par heure, ce qui correspond à une force de $\frac{7995600}{270000} = 29,61$ chevaux (36).

En opérant de la même manière pour les diamètres successifs $0^m,12$, $0^m,15$, $0^m,20$, $0^m,25$, on obtient les résultats du tableau suivant (186)

DIAMÈTRE de la conduite.	CHARGE J par mètre.	CHARGE TOTALE due au mouvement de l'eau et à son élévation.	EFFET utile de la machine en kilogr. m., par heure.	FORCE de la machine en chevaux.
m	m	m		
0.09	0.10826	108.26+25=133.26	7 995 600	29.61
0.12	0.02607	26.07+25= 51.07	3 063 960	11.35
0.15	0.00870	8.70+25= 33.70	2 022 000	7.49
0.20	0.00215	2.15+25= 27.15	1 629 000	6.03
0.25	0.00074	0.74+25= 25.74	1 544 400	5.72

191. 3° PROBLÈME. *Distribution d'eau au moyen d'une conduite* AE *diamètre uniforme sur toute sa longueur* (fig. 21) *alimentant sur son parcours différents écoulements* B, C,

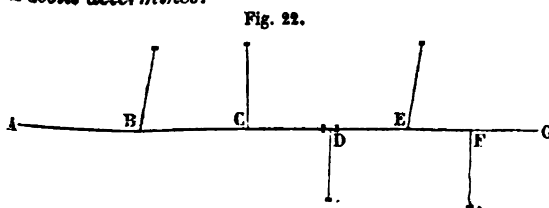
Fig. 21.

de débits déterminés : chacun de ces écoulements alimente, par xemple, un certain nombre de bornes-fontaines.

Il faut que le diamètre de la conduite soit tel, que la charge à l'ori-ine de chaque écoulement soit suffisante pour que l'eau s'élève au noins à quelques décimètres au-dessus des orifices des bornes-fontaines limentées par ces écoulements. Pour déterminer ce diamètre, on lui uppose une première valeur qu'on préjuge convenable ; on détermine a perte de charge qui a lieu du point A, origine de la conduite, au oint B, premier écoulement ; ce que l'on fait en opérant comme au remier problème (179) ; car ayant le débit de cette partie AB, débit qui st égal à celui de toute la conduite, et son diamètre, la table du n° 178 onne la perte de charge par mètre ; laquelle, multipliée par la distance es points A et B, qui est connue, donne la perte totale de charge pour a partie de conduite comprise entre ces deux points. Retranchant cette erte de la charge théorique au point B, c'est-à-dire de la différence de auteur du point B et du niveau de l'eau dans le réservoir alimentaire lacé au point A, on a la charge réelle au point B ; charge qui doit être apable d'élever l'eau aux bornes-fontaines alimentées par l'écoule-nent B. On détermine ensuite la perte de charge qui a lieu du point B au oint C ; pour cela, on opère comme de A en B, en remarquant seule-nent que le volume débité par cette portion de conduite est égal à celui lébité par la partie AB, moins le volume qui s'écoule par le branche-nent B. Ayant la perte de charge qui a lieu de B en C, on l'ajoute à celle rouvée pour la partie AB, ce qui donne la perte totale de A en C ; la-uelle, retranchée de la charge théorique en C, donne la charge réelle n ce point ; charge qui doit aussi être suffisante pour produire l'écou-ement par les bornes alimentées par le branchement C. On opère en-uite pour les parties successives CD, DE de la conduite comme pour les récédentes, et on voit si la charge à l'origine de tous les branchements st suffisante pour produire un écoulement convenable par les bornes. i cette charge n'était pas suffisante, on essayerait un diamètre plus rand, et si l'on avait un excès de pression, on vérifierait un diamètre lus petit.

182. 4e PROBLÈME. *Déterminer les diamètres à donner aux deux portions d'une conduite recevant l'eau par ses deux extrémités* A *et* G (fig. 22), *et alimentant sur son parcours différents écoulements* B, C, D, E, F *de débits déterminés.*

Fig. 22.



Dans ce cas, des écoulements sont alimentés par l'eau venant de A, et les autres par l'eau venant de G, et généralement un des écoulements reçoit une partie de son eau de l'extrémité A et l'autre partie de l'extrémité G; ainsi, par exemple, la quantité d'eau fournie par l'extrémité A est égale à la dépense des écoulements B, C, $\frac{1}{4}$ D, et celle fournie par l'extrémité G, à la dépense des écoulements F, E, $\frac{3}{4}$ D.

Le diamètre de chacune des parties AD et DG de la conduite doit être tel, que la charge à l'entrée de chaque branchement soit suffisante pour le débit de ce branchement, et, de plus, que la charge soit la même à l'entrée du branchement D pour chacune des portions de la conduite. On est donc obligé de procéder par tâtonnement pour arriver à la solution du problème. Pour cela, on assigne une première valeur à chacun des diamètres de AD et DG, et on détermine, en opérant comme dans le cas précédent (181), quelle est la charge à l'entrée de l'écoulement D. Si cette charge est la même pour les deux écoulements en sens contraire, et que la distribution se fasse convenablement par tous les branchements alimentés par chaque portion de la conduite principale, on adopte les diamètres supposés. Si, au contraire, ces conditions ne sont pas remplies, on augmente ou on diminue un ou les deux diamètres, selon que l'indiquent les résultats trouvés, et on continue le tâtonnement jusqu'à ce qu'on arrive à des diamètres satisfaisant aux conditions exigées.

183. 5ᵉ PROBLÈME. *Distribution d'eau au moyen d'une conduite de différents diamètres.*

Une telle distribution se compose d'une suite de conduites de diamètres différents, mais uniformes entre deux écoulements successifs, entre lesquels aussi le débit est constant. On résoudra donc ce problème d'après la marche suivie au nº 181, en déterminant la perte de charge due à chaque conduite partielle en ayant égard, non-seulement à la diminution du débit, mais aussi à celle du diamètre. De là on conclura la charge effective à l'origine de chaque branchement, charge qui devra être suffisante pour produire un écoulement convenable dans chacun d'eux.

184. 6ᵉ PROBLÈME. *Une conduite* AB (fig. 23) *est alimentée à son extrémité* A *par deux conduites* CA *et* DA *de débits donnés; il s'agit de déterminer les diamètres de ces conduites.*

Fig. 23.

On assigne une valeur au diamètre de AB; comme on connaît le débit de cette partie de la conduite, on obtient, au moyen de la table du nº 178,

la perte de charge qui lui est due, et comme on a la différence de niveau des points A et B, on conclut qu'elle devra être la charge effective au point A. Assignant ensuite des valeurs aux diamètres des conduites CA et DA, comme on connaît le volume d'eau que doit amener chacune de ces conduites, au moyen de la table on obtient la perte de charge pour chacune d'elles, et on en conclut la charge effective au point A; charge qui doit être la même pour les deux conduites, et égale à celle qui a été calculée nécessaire pour produire un écoulement satisfaisant dans AB; s'il n'en était pas ainsi, on modifierait convenablement le diamètre d'une ou de deux, ou même des trois conduites partielles.

Si la quantité d'eau fournie par chacune des conduites CA et DA n'était pas déterminée, on pourrait faire varier, outre les diamètres des conduites, les quantités d'eau fournies, mais de manière que la somme de ces quantités soit égale à la dépense de AB. Dans tous les cas, la charge au point A doit être la même pour chacune des conduites CA et DA, et suffisante pour produire un écoulement convenable dans la partie AB.

185. *Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux*, par M. H. Darcy, inspecteur des ponts et chaussées, ouvrage publié en 1857. M. Darcy, en se plaçant dans les conditions mêmes du service des eaux, a exécuté sur une grande échelle des expériences dans le but de vérifier le degré d'exactitude et la généralité de la formule de Prony (175), qui s'était souvent trouvée en défaut : ainsi M. d'Aubuisson a constaté, à Toulouse, qu'elle donnait une perte de charge J due au frottement qui n'atteignait pas parfois la moitié de la perte réelle, pour des conduites de grandes dimensions en service depuis plusieurs années. Cela est dû à ce que cette formule ne tient compte ni de l'influence de l'état de la surface intérieure des conduites, ni de leur diamètre.

M. Darcy a soumis à l'expérience des tuyaux en fer étiré, en plomb étiré, en fer bitumé et en verre neuf, sans dépôt, ainsi que des tuyaux en fonte, les uns neufs et les autres altérés par des dépôts non nettoyés et ensuite nettoyés. Les diamètres ont varié depuis les plus petits employés jusqu'à $0^m,50$, et les vitesses moyennes depuis $0^m,03$ jusqu'à 5 ou 6 mètres, ce qui dépasse de beaucoup les vitesses usitées dans la pratique (176).

De ses expériences, au nombre de 198, M. Darcy conclut :

1° Que contrairement à ce qui était admis jusqu'à ce jour, la nature et l'état des surfaces exercent une influence notable sur le débit de la conduite. Ainsi :

Des conduites en fer enduites de bitume donnent des débits qui sont à ceux fournis par la formule de Prony dans le rapport de 4 à 3 environ (175);

Le verre donne des résultats analogues;

Des conduites en fonte, dont des dépôts, même légers, ne diminuent le diamètre que

d'une faible quantité, fournissent des débits notablement inférieurs à ce qu'indique la formule de Prony. Après le nettoyage de ces mêmes conduites, les débits sont d'accord avec la formule ;

Des conduites en plomb de 0^m,044, 0^m,027 et 0^m,041 de diamètre ont donné à l'expérience les débits indiqués par la formule de Prony,

2° Que la formule de Prony n'assigne pas une assez grande influence au diamètre de la conduite.

Pour les petits diamètres les résultats de l'expérience sont inférieurs à ceux de la formule, tandis que pour les grands diamètres ils leur sont supérieurs.

3° Que représentant graphiquement les résultats des diverses séries d'expériences, ainsi que l'avait fait de Prony, la loi de la résistance pour chaque tuyau est, en conservant aux lettres les mêmes significations qu'au n° 175, exprimée par la formule

$$\frac{DJ}{2} = a'v + b'v^2; \qquad (1)$$

excepté cependant pour les tuyaux de très-petits diamètres, et aussi pour les vitesses inférieures à 0^m,10, pour lesquelles le terme $b'v^2$ a si peu d'influence; que la résistance est sensiblement proportionnelle à la simple vitesse v.

4° Que pour des tuyaux qui diffèrent soit par leur nature, soit par leur diamètre, les coefficients a' et b' des deux puissances de la vitesse varient avec le degré de poli des surfaces et avec le diamètre.

5° Que pour des tuyaux recouverts de dépôts, la résistance peut, comme antérieurement l'avait supposé Girard et admis d'Aubuisson, être considérée comme simplement proportionnelle au carré de la vitesse, ce qui donne

$$\frac{DJ}{2} = b_1v^2. \qquad (2)$$

6° Que la pression est sans influence sur la résistance.

7° Que pour *chaque tuyau* et *chaque diamètre*, dès que la vitesse atteint quelques décimètres, la formule (2) reproduit les résultats de l'expérience avec une exactitude qui est sensiblement la même que pour la formule (1), et que c'est surtout pour les tuyaux recouverts d'une couche de dépôts, et par conséquent à l'état normal des conduites d'eau, que cette coïncidence se manifeste.

8° Que selon que la conduite est en tôle enduite de bitume, ou en fonte neuve ou en fonte recouverte de dépôts, les valeurs de b_1 et par suite aussi celles de J sont à peu près, pour le même diamètre ou des diamètres sensiblement égaux, dans le rapport des nombres 1, 1,5 et 3.

9° Que pour des tuyaux en fer étiré et en fonte, sensiblement au même degré de poli, et dont les diamètres ont varié de 0^m,0122 à 0^m,50,

les valeurs du coefficient b_1 peuvent être représentées par la formule

$$b_1 = 0,000507 + \frac{0,00001294}{D}.$$

C'est à l'aide de cette formule que M. Darcy a calculé les valeurs de b_1 du tableau suivant.

De la formule (2) on tire

$$D = \frac{2b_1v^2}{J}, \quad J = \frac{2b_1v^2}{D}, \quad v = \sqrt{\frac{JD}{2b_1}}.$$

Ayant $\quad Q = \frac{\pi D^2}{4}v \quad$ ou $\quad v = 1,273\,\frac{Q}{D^2},$

on a aussi

$$Q = \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{JD^5}{2b_1}} \quad D = \sqrt[5]{\frac{32}{\pi^2}b_1\frac{Q^2}{J}} = \sqrt[5]{3,2423b_1\frac{Q^2}{J}}, \quad J = 3,2423\,\frac{b_1}{D^5}Q^2.$$

Ces formules sont applicables aux tuyaux neufs en fonte et en fer étiré; pour les tuyaux en tôle enduite de bitume, ou en verre dont la surface est polie, il suffit d'y multiplier b_1 par 0,67 (8°) ; pour ceux en fonte recouverts de dépôts, on doit doubler b_1 ce qui donne

$$Q = \frac{\pi}{8}\sqrt{\frac{JD^5}{b_1}}, \quad D = \sqrt[5]{6,4846b_1\frac{Q^2}{J}}, \quad J = 6,4846\,\frac{b_1}{D^5}Q^2.$$

A moins qu'il ne s'agisse de conduites provisoires, c'est-à-dire de peu de durée, il est prudent d'adopter ces dernières formules quels que soient le degré de poli de la surface et la matière employée; car après quelque temps de service, surtout si les eaux sont ferrugineuses et à plus forte raison calcaires, les parois intérieures sont couvertes de dépôts, et toutes les conduites amenées dans le même état que celles de fonte en service permanent.

Représentant $6,4846\,\frac{b_1}{D^5}$ par α, la dernière formule devient

$$J = \alpha Q^2, \quad \alpha = \frac{J}{Q^2}, \quad Q = \sqrt{\frac{J}{\alpha}}. \qquad (a)$$

Le tableau suivant contient les valeurs de b_1 et celles de α pour les différents diamètres de conduite. Pour des conduites provisoires en fonte neuve ou en fer étiré, il suffirait de diviser par 2 les valeurs de α du tableau pour faire usage des formules (a); et pour des conduites neuves en tôle bitumée ou en verre, il suffirait de diviser par 3 les valeurs de α (8°).

DIAMÈTRES D.	VALEURS de b_1.	VALEURS de α.	DIAMÈTRES D.	VALEURS de b_1.	VALEURS de α.	DIAMÈTRES D.	VALEURS de b_1.	VALEURS de α.
m			m			m		
0.01	0.001801	116790000	0.18	0.000578	19.836	0.39	0.000540	0.38811
0.02	0.001154	2338500	0.19	0.000575	15.059	0.40	0.000539	0.34134
0.027	0.000986	445600	0.20	0.000571	11.571	0.41	0.000538	0.30112
0.03	0.000938	250310	0.21	0.000568	9.0185	0.42	0.000537	0.26645
0.04	0.000830	52561	0.216	0.000566	7.8061	0.43	0.000537	0.23687
0.05	0.000765	15874	0.22	0.000565	7.1092	0.44	0.000536	0.21076
0.054	0.000746	10535	0.23	0.000563	5.6722	0.45	0.000535	0.18801
0.06	0.000722	6020.9	0.24	0.000560	4.5610	0.46	0.000535	0.16844
0.07	0.000691	2666.1	0.25	0.000558	3.7052	0.47	0.000534	0.15099
0.08	0.000668	1321.9	0.26	0.000556	3.0345	0.48	0.000533	0.13565
0.081	0.000666	1238.6	0.27	0.000554	2.5036	0.49	0.000533	0.12236
0.09	0.000650	713.81	0.28	0.000553	2.0836	0.50	0.000532	0.11039
0.10	0.000636	412.42	0.29	0.000551	1.7420	0.55	0.000530	0.068288
0.108	0.000626	276.27	0.30	0.000550	1.4677	0.60	0.000528	0.044031
0.11	0.000624	251.25	0.31	0.000548	1.2412	0.65	0.000526	0.029397
0.12	0.000614	160.01	0.32	0.000547	1.0571	0.70	0.000525	0.020256
0.13	0.000606	105.84	0.325	0.000546	0.97647	0.75	0.000524	0.014319
0.135	0.000602	87.058	0.33	0.000546	0.90470	0.80	0.000523	0.010350
0.14	0.000599	72.222	0.34	0.000545	0.77783	0.85	0.000522	0.0076289
0.15	0.000593	50.639	0.35	0.000543	0.67042	0.90	0.000521	0.0057215
0.16	0.000587	36.301	0.36	0.000542	0.58126	0.95	0.000520	0.0034615
0.162	0.000586	34.057	0.37	0.000541	0.50591	1.00	0.000519	0.0033655
0.17	0.000583	26.626	0.38	0.000541	0.44275			

186. Soit à résoudre, à l'aide des formules et du tableau du nº précédent, les problèmes des nºˢ 179 et suivants.

1ᵉʳ PROBLÈME (179). *Soit à déterminer le diamètre d'une conduite de* 5000 *mètres de longueur, capable de débiter* 60 *mètres cubes d'eau par heure, ou* 0ᵐᶜ,016667 *par seconde, la charge totale étant de* 5 *mètres, c'est-à-dire* 0ᵐ,001 *par mètre de longueur de conduite.*

La formule (a) donne

$$\alpha = \frac{J}{Q^2} = \frac{0,001}{0,016667^2} = 3,5999.$$

En consultant le tableau précédent, on voit que le diamètre cherché est compris entre 0ᵐ,25 et 0ᵐ,26, et de peu supérieur à 0ᵐ,25.

Si l'on veut avoir à très-peu près sa valeur exacte, on suppose qu'entre les deux diamètres successifs 0ᵐ,25 et 0ᵐ,26 de la table, les variations des diamètres sont proportionnelles à celles de α, et en représentant par x ce qu'il faut ajouter à 0ᵐ,25, on a

$$(3,7052-3,0345)=0,6707 : (3,7052-3,5999)=0,1053 :: (0,26-0,25)= 0,01 : x;$$

d'où
$$x = \frac{0,01 \times 0,1053}{0,6707} = 0,0016.$$

On a donc D = 0ᵐ,252, au lieu de D = 0ᵐ,24 que nous avons trouvé au nº 179, d'après la formule de Prony.

Si la conduite était en fonte neuve, et ne devait servir que pendant un temps assez court, on aurait

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{J}{Q^2} \quad \text{ou} \quad \alpha = \frac{2J}{Q^2} = 3{,}5999 \times 2 = 7{,}1998.$$

Valeur de α qui correspond à $D = 0^m{,}220$ environ.

Si la conduite était en tôle bitumée et provisoire, on aurait

$$\alpha = \frac{3J}{Q^2} = 3{,}5999 \times 3 = 10{,}7997 \quad \text{et} \quad D = 0^m{,}203.$$

2° Problème. Soit à résoudre le problème du n° 180.

Pour le diamètre $D = 0^m{,}09$, on a

$$J = \alpha Q^2 = 713{,}81 \times 0{,}016667^2 = 0^m{,}19829.$$

La perte de charge pour les 1000 mètres de longueur de conduite est alors $198^m{,}29$; la charge totale due au mouvement de l'eau et à son élévation, $198^m{,}29 + 25^m$; le travail total à produire par heure, non compris le frottement des pompes, $60000\,(198{,}29 + 25) = 13\,397\,400^{km}$; enfin, la force de la machine, $\frac{13\,397\,400}{270\,000} = 49{,}62$ chevaux.

Opérant de même pour les diamètre ssuccessifs $0^m{,}12$, $0^m{,}15$, $0^m{,}20$, $0^m{,}25$, on obtient les résultats du tableau suivant.

DIAMÈTRE de la conduite.	CHARGE J par mètre.	CHARGE TOTALE due au mouvement de l'eau et à son élévation.	EFFET utile de la machine en kilogr. m. par heure.	FORCE de la machine en chevaux.
m	m	m		
0.09	0.19829	198.29+25=223.29	13397400	49.62
0.12	0.04445	44.45+25= 69.45	4167000	15.43
0.15	0.01407	14.07+25= 39.07	2344020	8.68
0.20	0.00321	3.21+25= 28.21	1692858	6.27
0.25	0.00103	1.03+25= 26.03	1561800	5.78

En comparant les valeurs de J de ce tableau avec celles du n° 180, qui correspondent aux mêmes vitesses, on voit que la formule de Prony donne des pertes de charge beaucoup plus petites que celle de M. Darcy. Il n'en serait pas de même pour les conduites neuves provisoires en fonte, et surtout pour celles en tôle bitumée, puisqu'il faudrait diviser par 2 les valeurs de J du tableau précédent pour les premières, et par 3 pour les secondes (185).

En faisant usage de la formule de M. Darcy, on résoudra les problèmes des n°s 181 et suivants, en suivant la marche indiquée à ces numéros.

187. *Pouce d'eau ou pouce de fontainier.* On évalue quelquefois le débit d'une conduite d'eau en pouces d'eau ou pouces de fontainier, qui équivaut à un débit de 0,000222166 de mètre cube par seconde, ou d'environ 13,33 litres par minute, ou encore de 19,1953 mètres cubes par 24 heures.

La *ligne d'eau* est la 144e partie du pouce d'eau, ou 133,3 litres par 24 heures, et le *point d'eau*, la 144e partie de la ligne d'eau.

188. *Borne-fontaine.* Une borne-fontaine débite moyennement à Paris 0,00178 de mètre cube par seconde, ce qui équivaut à peu près à 8 pouces de fontainier, ou 107 litres par minute. Son orifice est placé à 0m,50 au-dessus du sol, et il suffit, pour son alimentation, que l'eau puisse s'élever de quelques décimètres au-dessus de cet orifice.

A Dijon, le débit par minute des bornes-fontaines varie de 74 litres sous une charge de 2m,078 à 264 litres sous la charge de 17m,001, et le produit ordinaire est de 200 litres. Ce débit alimente et au delà une pompe à incendie qui lance, dans une marche continue, jusqu'à 235 litres par minute, ou seulement 170 litres environ, à cause des temps d'arrêt inévitables. La distance des bornes est de 100 mètres dans l'intérieur de la ville, et, y compris les faubourgs, la distance moyenne est de 150 mètres (190).

189. *Perte de charge due aux coudes.* Navier, en discutant les résultats obtenus par Dubuat, a posé la formule

$$p = \frac{v^2}{2g}\left(0.0039 + 0.0186r\right)\frac{a}{r^2}.$$

p perte de charge due au coude;
v vitesse moyenne de l'eau dans le tuyau;
$\frac{v^2}{2g}$ hauteur correspondant à la vitesse v (133);
r rayon de l'arc formé par l'axe du coude;
a développement de l'arc formé par l'axe du coude.

Cette formule fait voir que la perte de charge p est proportionnelle au carré de la vitesse moyenne v et à la longueur de l'arc a; qu'elle est fonction du rayon r, et indépendante du diamètre du tuyau; enfin qu'elle est d'autant plus petite que r est plus grand.

Pour les diamètres de conduite successifs :

0m,05 et 0m,06, 0m,08 et 0m,10, 0m,15, 0m,20, 0m,25 et au-dessus, les valeurs de r sont respectivement :

0m,45 0m,50 0m,75, 1m,00, 1m,50.

Avec ces proportions, la perte de charge due aux coudes est très-faible près de la perte due au frottement de l'eau contre les parois des tuyaux, et comme dans la pratique les coudes sont généralement en petit nombre, on peut ordinairement négliger leur influence sur la perte de charge.

190. *Proportions des tuyaux de conduite.* L'épaisseur à donner à un tuyau cylindrique soumis à une certaine pression intérieure est donnée par la formule

$$e = \frac{hD}{2R}.$$

e épaisseur du tuyau en millimètres;
h pression intérieure du tuyau, exprimée en mètres de hauteur d'eau;
D diamètre du tuyau en mètres;
R résistance à la traction de la matière dont est composé le tuyau, en kilogrammes par millimètre carré de section.

Pour la fonte, la résistance absolue à la traction varie de 12 à 14 kil. par millimètre carré de section; mais dans la pratique il convient, pour la stabilité des constructions, de réduire la traction à 3 et même à 2 kil. Adoptant 2 kil. dans le cas des tuyaux de conduite, la formule précédente devient

$$e = \frac{hD}{4} = 0.25hD,$$

et si l'on exprime e en mètres, on a

$$e = 0.00025hD.$$

Cette formule donne encore des épaisseurs inférieures à celles adoptées dans la pratique; cela tient à la difficulté d'obtenir sans défauts des tuyaux en fonte de $1^m,50$ à $2^m,50$ de longueur.

Dans les arts, les épaisseurs des tuyaux se déterminent à l'aide des formules :

		m.
Fonte	coulée horizontalement. . . .	$e = 0,0100 + 0,00200Dn$
	coulée verticalement.	$e = 0,0080 + 0,00160Dn$
Fer.		$e = 0,0030 + 0,00086Dn$
Cuivre laminé.		$e = 0,0040 + 0.00147Dn$
Plomb (192).		$e = 0,0050 + 0,00242Dn$
Zinc.		$e = 0,0040 + 0,00620Dn$
Bois (193).		$e = 0,0270 + 0,03230Dn$
Pierres naturelles.		$e = 0,0300 + 0,00363Dn$
Pierres factices.		$e = 0,0400 + 0,00588Dn$

e épaisseur du tuyau en mètres;
D diamètre du tuyau en mètres;
n pression à laquelle on essaye les tuyaux, en atmosphères.

Pour $n = 10$, on a, pour les tuyaux en fonte coulés horizontalement :

$$e = 0^m,01 + 0,02D.$$

C'est à l'aide de cette formule qu'ont été déterminées les épaisseurs des tuyaux consignés dans le tableau suivant, qui donne en outre les dimensions des autres parties de ces tuyaux. On essaye ces tuyaux à une pression de 10 atmosphères, à l'aide d'une presse hydraulique du prix de 1200 fr. environ.

DIAMÈTRES des tuyaux.	LONGUEURS totales des tuyaux.		ÉPAISSEURS des tuyaux.	EMBOITEMENTS			BRIDES			
	avec emboîtement.	sans emboîtement.		diamètres intérieurs.	longueurs.	épaisseurs.	diamètres extérieurs.	épaisseurs au collet.	fruits.	nombres de trous.
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	
0.05	1.60	1.50	0.0110	0.090	0.10	0.015	0.195	0.016	0.003	3
0.06	id.	id.	0.0112	0.100	id.	id.	0.205	id.	id.	id.
0.08	2.12	2.00	0.0116	0.120	0.12	0.016	0.225	0.020	0.004	4
0.10	id.	id.	0.0120	0.140	id.	id.	0.245	0.024	id.	id.
0.15	2.65	2.50	0.0130	0.195	0.15	0.020	0.304	0.025	0.005	6
0.20	id.	id.	0.0140	0.245	id.	id.	0.355	0.030	id.	id.
0.25	id.	id.	0.0150	0.300	id.	id.	0.410	0.035	id.	id.
0.30	id.	id.	0.0160	0.350	id.	id.	0.470	0.040	id.	8
0.35	1.70	2.50	0.0170	0.410	0.20	0.025	0.530	0.045	id.	id.
0.40	id.	id.	0.0180	0.460	id.	id.	0.585	id.	id.	9
0.45	id.	id.	0.0190	0.510	id.	id.	0.650	id.	id.	id.
0.50	id.	id.	0.0200	0.560	id.	id.	0.700	id.	id.	12
0.60	id.	id.	0.0220	0.660	id.	id.	0.800	id.	id.	id.

Les tuyaux de 0m,10 et au-dessous sont garnis, sur leur longueur, de 2 filets de 0m,08 de largeur sur 0m,0035 à 0m,004 de saillie, et ceux d'un diamètre supérieur, de 3 filets ayant 0m,08 de largeur sur 0m,005 de saillie.

Les cordons placés aux extrémités des tuyaux ont, pour le petit bout, un diamètre égal au 1/10 environ de la longueur de l'emboîtement dans lequel ils pénètrent; pour le gros bout, c'est-à-dire pour l'emboîtement, ce diamètre est égal à l'épaisseur de l'emboîtement. Ces cordons font une saillie égale à leur rayon sur le corps du tuyau ou de l'emboîtement.

Les diamètres des tuyaux dont on fait usage à Paris ayant été fixés en anciennes mesures, quelques-uns diffèrent, comme le fait voir le tableau suivant, de ceux du tableau précédent; mais les autres parties des tuyaux sont proportionnées de la même manière.

Poids des tuyaux coulés horizontalement, anciens modèles employés à Paris.

DIAMÈTRES des tuyaux.	EMBOÎTEMENT et cordon.	BRIDE et cordon.	EMBOÎTEMENT et bride.	DEUX emboîtements.	DEUX brides.
m	kil	kil	kil	kil	kil
0.081	50	47	54	57	51
0.108	75	72	81	84	78
0.135	125	122	132	135	129
0.162	150	141	158	162	149
0.190	200	189	209	220	198
0.216	230	218	242	254	230
0.250	283	271	307	319	285
0.300	355	331	371	395	347
0.325	385	357	402	430	374
0.350	416	385	435	466	404
0.400	509	470	532	571	493
0.500	687	619	744	782	646
0.600	820	755	850	910	790

Depuis quelques années, on coule les tuyaux debout. Avec cette précaution, on peut diminuer leur épaisseur, que l'on calcule, en faisant $n = 10$, à l'aide de la formule

$$e = 0^{m},008 + 0,016D.$$

La fig. 24 représente la coupe de deux tuyaux de 0m,50 de diamètre, nouveaux modèles, l'un à emboîtement et l'autre à bride. Les cotes expriment des millimètres.

Fig. 24.

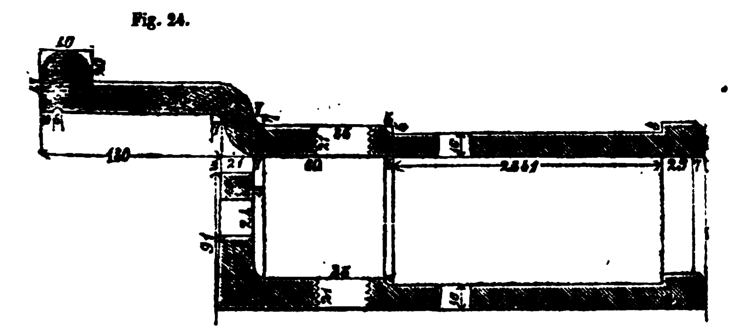


TABLEAU des proportions des tuyaux coulés debout, nouveaux modèles employés à Paris, et des consoles supportant les tuyaux placés dans des égouts.

DIAMÈTRES intérieurs		ÉPAISSEURS du corps des tuyaux		BRIDES.			CONSOLES.	
des tuyaux.	des emboîtements.	droits.	courbes.	Diamètres extérieurs.	Nombres de trous.	Distances des trous au bord extérieur.	Longueurs.	Poids.
m	m	m	m	m		m	m	k
»	»	0.0095	0.0115	»	3	»	»	»
0.081	0.120	0.0095	0.0115	0.224	3	0.012	0.40	4
0.108	0.148	0.0100	0.0120	0.253	4	id.	id.	id.
0.135	0.175	id.	id.	0.280	5	0.014	0,50	7
0.162	0.203	0.0105	0.0140	0.317	6	0.015	id.	id.
0.190	0 232	0.0110	0.0145	0.347	id.	id.	0.65	12
0.216	0.259	0.0115	0.0150	0.377	id.	0.016	id.	id.
0.250	0 298	0.0120	id.	0.411	id.	id.	0.70	15
0.300	0.350	0.0130	0.0160	0.474	8	id.	id.	id.
0.325	0.376	0.0135	id.	0.499	id.	id.	0.80	17
0.350	0.404	0.0140	0.0170	0 528	9	0.018	id.	id.
0.400	0.453	0 0145	0.0180	0.582	10	id.	id.	id.
0.500	0.556	0.0160	0.0200	0.682	12	id.	0.96	27
0.600	0.660	0.0180	0.0220	0.786	14	id.	id.	32

Pour les tuyaux de 0m.081 à 0m.216 de diamètre :

- L'épaisseur à l'emboîtement est égale à l'épaisseur du corps du tuyau plus 0m,004 ; cette surépaisseur se prolonge au delà des parties arrondies, sur une longueur de 0m,08 ;
- Le cordon de l'emboîtement a 0m,01 de rayon ;

12

3° Le cordon du petit bout a 0m,035 de longueur et 0m,006 de saillie sur le corps du tuyau ; il convient d'arrondir l'arête extérieure sur un rayon égal à celui des petites parties arrondies, intérieure et extérieure, du fond de l'emboîtement, rayon que donne le dessin du tuyau projeté;

4° La profondeur de l'emboîtement, y compris la petite partie arrondie du fond est de 0m,11 ;

5° Le diamètre intérieur de l'emboîtement est tel qu'il y a 0m,004 de jeu tout autour du cordon du petit bout qui y pénètre; de sorte que l'épaisseur du joint est de 0m,006 + 0m,004 = 0m,010.

Pour les tuyaux de 0m,25 à 0m,60 *de diamètre* (fig. 24) :

1° La surépaisseur de l'emboîtement est de 0m,005, et elle se prolonge, comme pour les petits tuyaux, de 0m,08 au delà des parties arrondies;

2° Le cordon de l'emboîtement a 0m,02 de rayon;

3° Le cordon du petit bout a 0m,036 de longueur et 0m,008 de saillie;

4° La profondeur de l'emboîtement, y compris la petite partie arrondie, est de 0m,13;

5° Le joint a 0m,008 + 0m,004 = 0m,012 d'épaisseur.

Pour tous les tuyaux:

1° La longueur, comptée du petit bout au fond de l'emboîtement, est 2m,50 ; de sorte que la longueur totale est 2m,50 + 0m,11 = 2m,61 pour les tuyaux de 0m,05 à 0m,216 de diamètre, et 2m,50 + 0m,13 = 2m,63 pour ceux de 0m,25 à 0m,60. Comme on fait pénétrer le bout mâle dans l'emboîtement jusqu'à ce que son extrémité arrive à peu près à l'origine de la petite partie arrondie du fond, les longueurs précédentes de tuyaux donnent 2m,50 de conduite pour chaque bout mis en place, plus environ la longueur de la petite partie arrondie, c'est-à-dire quelques millimètres;

2° Le prolongement sur une longueur de 0m,08 de la surépaisseur de l'emboîtement remplace les filets des anciens modèles. Au milieu de cette partie renflée se trouve un trou taraudé, de 0m,035 de diamètre, destiné à recevoir les tuyaux de concession d'eau. Ce trou se ferme avec un bouchon en zinc vissé ;

3° La longueur de la grande partie arrondie formant le fond de l'emboîtement, mesurée suivant l'axe du tuyau, est égale à l'épaisseur à l'emboîtement;

4° Sur tout le contour intérieur de l'emboîtement, à 0m,01 du bout, règne un petit refouillement de 0m,006 de diamètre destiné à retenir le plomb formant le joint;

5° La longueur du joint en plomb est de 0m,04; le reste en dessous est rempli de corde goudronnée;

6° Quand il y a une bride (fig. 24), son épaisseur à l'extérieur est égale à la longueur de la grande partie arrondie formant le fond de l'emboîtement ou à l'épaisseur de l'emboîtement; son fruit, de l'arête intérieure à l'arête extérieure, est de 0m,003; et la longueur totale du tuyau, mesurée à l'intérieur, c'est-à-dire y compris le fruit de la bride est de 2m,50. Quand il y a deux brides, la longueur totale du tuyau est encore égale à 2m,50.

Les tiges des boulons sont carrées et ont 0m,021 de côté pour les tuyaux de 0m,25 et au-dessous, et 0m,024 pour ceux de 0m,30 et au-dessus.

La rondelle en plomb s'étend de l'intérieur du tuyau jusqu'aux boulons; son épaisseur, à l'intérieur du tuyau, est de 0m,01 pour les tuyaux de moins de 0m,25 de diamètre, et de 0m,012 pour ceux de 0m,25 et au-dessus. Chaque bout de tuyau en place fournit 2m,50 de conduite, plus l'épaisseur de cette rondelle.

7° Pour les tuyaux courbes, les épaisseurs du corps sont celles du tableau précédent; les cordons et la surépaisseur de l'emboîtement sur le corps des tuyaux sont les mêmes que pour les tuyaux droits d'égal diamètre; si les tuyaux sont à brides, l'épaisseur de celles-ci, à l'extérieur, est encore égale à l'épaisseur de l'emboîtement, et leur fruit est aussi de 3 millimètres.

Poids des tuyaux droits, des tubulures et des robinets-vanne.

Diamètres des tuyaux.	A emboîtement et cordon.	A emboîtement et bride.	A bride et cordon.	A double emboîtement.	A double bride.	Poids additionnel pour une tubulure.	Robinets-vanne.
m	k	k	k	k	k	k	k
0.060	»	»	»	»	»	8	»
0.081	58	62	55	65	59	11	101
0.108	78	83	75	86	80	14	129
0.135	96	102	92	105	99	17	207
0.162	119	126	115	131	122	22	238
0.190	146	154	140	160	148	24	293
0.216	174	181	166	186	176	28	304
0.250	215	225	200	240	210	32	410
0.300	276	290	260	306	274	38	450
0.325	310	325	292	343	307	41	580
0.350	343	360	324	380	341	44	612
0.400	404	424	382	446	402	53	763
0.500	551	576	522	605	547	74	1117
0.600	738	770	700	840	732	105	1170

Poids des tuyaux courbes.

DIAMÈTRES.	ANGLES.	RAYONS. (189)	DOUBLE bride.	BRIDE et cordon.	EMBOITEMENT et cordon.
m		m	k	k	k
0,81	90°	0,50	28	»	»
id.	45	id.	18	17	20
0,108	90	id.	37	»	»
id.	45	id.	24	22	27
0.135	id.	0,75	36	35	44
0.162	id.	id.	51	49	56
0.19	id.	1.00	76	73	80
0.216	id.	id.	89	86	94
0.25	id.	1.50	140	139	135
0.30	id.	id.	180	177	195
0.325	id.	id.	193	191	210
0.35	id.	id.	219	217	239
0.40	id.	id.	263	261	286
0.50	id.	id.	355	356	392
0.60	id.	id.	462	466	512

Poids :

1° d'une borne-fontaine avec plaque de fond { grand modèle. . . . 150k. / petit modèle. . . . 90

2° d'une ventouse à flotteur avec tubulure de 0m.081. 50

3° d'un poteau d'arrosement. 110

4° Trappe de regard { ordinaire { châssis. . . . . 360 / tampon plein. . . . . . . 130 / tampon à jour. . . . . . . 115 } pour trottoir { châssis. . . . . 160 / tampon plein. . . . . . . 90 }

TABLEAU DES PRIX :

1° *D'un mètre linéaire de conduite en fonte, sans terrassement, la fonte étant évaluée à* 25 fr. *les* 100 kil. ;
2° *D'un mètre linéaire de conduite en tôle et bitume, sans terrassement ni transport* ;
3° *Des robinets-vanne.*

DIAMÈTRES.	1° MÈTRE LINÉAIRE DE CONDUITE EN FONTE.					2° EN TÔLE ET BITUME		3° ROBINET-VANNE.		
	Poids du tuyau de 2m.50.	Poids du mètre linéaire.	Dépense pour fourniture de fonte.	Prix de pose du mètre linéaire.	Prix du mètre linéaire compris fourniture et pose.	à l'usine.	fourniture et pose.	Fourniture	Pose.	Total.
m	k	k	fr	fr	fr	fr	fr	fr	fr	fr
0.081	58	23.20	5.80	4.00	9.80	3.50	3.80	152	13	165
0.108	78	31.20	7.80	4.50	12.30	4.90	5.25	183	17	200
0.135	96	38.40	9.60	5.00	14.60	6.60	7.00	244	21	265
0.162	119	47.60	11.90	5.50	17.40	8.25	8.70	295	25	320
0.190	146	58.40	14.60	6.00	20.60	9.80	10 30	334	26	360
0.216	171	68.40	17.10	7.00	24.10	11.65	12.20	352	28	380
0.250	215	86.00	21.50	8.00	29.50	14.00	14.80	430	30	460
0.30	276	110.40	27.60	9.00	36.60	18.00	18.95	469	41	510
0.325	310	124.00	31.00	9.50	40.50	21.75	22.95	»	»	»
0.35	343	137.20	34.30	10.00	44.30	26.00	27.30	572	48	620
0.40	404	161.60	40.40	12.00	52.40	29.70	35.20	685	55	740
0.50	551	220.40	55.40	15.00	70.40	41.35	43.35	940	65	1005
0.60	738	295.20	73.80	18.00	91.80	56.20	58.45	1185	75	1260

Ventouse flotteur : fourniture, 67 fr. ; pose, 8 fr. ; total 75 fr.

191. *Pose des tuyaux.* Habituellement les conduites d'eau se placent en pleine terre, sous le pavé des rues, et à 1 mètre de profondeur, afin qu'elles soient préservées de la gelée et des vibrations; c'est le moyen le plus simple et le plus économique. Quelquefois on les a placées dans des rigoles en maçonnerie établies sous le pavé des rues et recouvertes de madriers en bois; mais la construction est dispendieuse et les fuites difficiles à trouver. D'autrefois, surtout pour les conduites principales, on les a placées dans des galeries voûtées en maçonnerie. Enfin, on les place encore dans les égouts, ce qui est moins dispendieux que quand on établit des galeries spéciales; mais la pose est difficile et la manœuvre des robinets incommode.

Afin que la garniture des joints soit élastique, on la fait en corde et en plomb; après avoir matté la corde dans le fond du joint, on remplit le reste de plomb fondu, que l'on matte fortement à son tour. Dans les localités où il n'y a pas d'ouvriers exercés à ce travail, on peut faire la garniture avec un mastic composé d'un mélange de 98 parties de limaille de fonte tamisée et non oxydée, et de 1 partie de fleurs de soufre, sur lequel on verse une dissolution

d'une partie de sel ammoniac dans l'eau bouillante. On amène le mélange à la consistance d'un mortier ordinaire en le brassant fortement, et de suite on en remplit les joints en le bourrant avec force.

192. On a coulé des tuyaux en plomb jusqu'au diamètre intérieur de $0^m,216$; ils avaient 4 mètres de longueur. En 1818, on a étiré les tuyaux, mais sans dépasser le diamètre de $0^m,108$. Depuis 1840, on comprime le plomb sous un piston de presse hydraulique, et on l'oblige à passer par un orifice annulaire, d'où il sort en tuyaux. On atteint ainsi jusqu'au diamètre de $0^m,10$; mais au-dessus de cette limite, les tuyaux se font avec des plaques de plomb que l'on soude après les avoir roulées.

La longueur des tuyaux en plomb est de $3^m,90$. Pour les joindre entre eux, on taille leurs extrémités en sifflet, afin que l'un pénètre un peu dans l'autre, et on fait un nœud de soudure, lequel, pour les diamètres successifs de tuyaux :

$0^m,04$, $0^m,06$, $0^m,08$, $0^m,11$, $0^m,16$, $0^m,19$, $0^m,22$,

pèse respectivement :

$2^k,25$, $3^k,50$, $4^k,50$, $6^k,00$, $9^k,00$, $11^k,00$, $13^k,00$.

Pour calculer l'épaisseur à donner à un tuyau en plomb, on peut se servir de la formule du tableau de la page 175, ou encore de celle

$$e = \frac{hD}{2R}. \qquad (190)$$

D'après des expériences de Navier, la ténacité absolue du plomb est de $1^k,35$ par millimètre carré de section, et la charge sous laquelle le plomb commence à s'étendre varie entre la moitié et les deux tiers de la résistance absolue. Adoptant $1^k,30$ pour la ténacité absolue, cette résistance étant 10 fois plus petite que celle de la fonte, il paraît naturel de donner aux tuyaux en plomb 10 fois plus d'épaisseur qu'à ceux en fonte placés dans les mêmes circonstances. Cependant, comme on fait facilement, même sous une faible épaisseur, des tuyaux en plomb homogènes dans toutes leurs parties, et que ces tuyaux ont moins à redouter des chocs, on peut, dans la formule précédente, faire R égal au 1/4 de la résistance absolue, c'est-à-dire à $0^k,325$. C'est à peu près la résistance adoptée pour les tuyaux en fonte coulés debout.

TABLEAU des épaisseurs des tuyaux en plomb anciennement adoptés dans la distribution des eaux de Paris et de Versailles, et des pressions intérieures auxquelles ils sont soumis quand la tension R de la matière est de $0^k.325$.

DIAMÈTRE D.	ÉPAISSEUR e.	PRESSION h.	PRESSION en atmosphères
m	millim	m	
0.027	6.8	163.67	15.84
0.041	9.0	142.70	13.81
0.054	9.0	108.29	10.48
0.068	12.3	118.00	11.42
0.081	12.3	98.68	9.55
0.108	12.3	73.98	7.16
0.135	13.5	64.99	6.29
0.162	13.5	54.14	5.24
0.216	13.5	40.61	3.93
0.25	15.8	41.02	3.97
0.32	15.8	32.03	3.10
0.65	35.0	25.03	2.39

193. On fait encore des *tuyaux en bois*. Leur résistance à la trac tion est très-grande; mais ils sont promptement détruits par la pourriture. Les bois employés à la confection de ces tuyaux sont le chêne, l'aulne et l'orme (tableau de la page 175).

194. *Service des eaux dans les villes.* Il existe à Paris 5 réservoir établis sur des points culminants pour alimenter les quartiers qu les environnent et faciliter l'arrivée de l'eau en cas d'incendie : c sont les réservoirs du Panthéon, 3 bassins; Racine, 3 bassins; Vau girard, 2 bassins; Monceau, 1 bassin, et Ménilmontant, 1 bassin. L capacité réunie de ces réservoirs s'élève à 28500 mètres cubes.

On vient de construire au point culminant de Passy, le plus rap proché des machines de Chaillot, un vaste réservoir, dans le doubl but de faire travailler les machines à une pression constante, et d régulariser la distribution des eaux de Seine dans Paris, au moye d'un approvisionnement qui peut s'élever à 37100 mètres cubes, et qu constitue un départ unique à niveau peu variable. Les eaux du puit artésien de Passy se rendront dans ce réservoir (Voir 6e partie).

La capacité totale de 37100 mètres cubes est la somme de 5 bas sins :

1° Un inférieur reposant sur le sol, d'une capacité de 11300 mètres cubes;

2° Un supérieur superposé au premier, et qui est recouvert d'une voûte légère; s contenance est de 6200 mètres;

3° Un inférieur contenant 10000 mètres cubes d'eau;

4° Un supérieur superposé au précédent; il est d'une capacité de 5700 mètres, i est découvert et affecté principalement au service du bois de Boulogne. Les réservoi couverts sont destinés à envoyer une eau plus potable à Paris;

5° Un bassin de réserve reposant sur le sol et découvert; il contient 3900 mètre cubes d'eau.

Il y a quelques années, le nombre des fontaines de Paris était de 94, parmi lesquelles on comptait 26 fontaines monumentales. A ces fontaines publiques, on doit ajouter 14 fontaines marchandes, 62 poteaux d'arrosement, 65 bouches de service pour incendie, 54 bouches d'eau sous trottoirs destinées, avec les bornes-fontaines, au lavage de la voie publique, et enfin 1844 bornes-fontaines.

Le total des appareils de distribution d'eau pour l'usage public était de 2033 sur toute la surface de la ville. Ces appareils, y compris les concessions particulières, fournissaient par jour une quantité de 69 480000 litres d'eau; ce qui fait à peu près 69 litres d'eau par jour et par individu.

D'un rapport sur un projet de distribution d'eau dans Madrid, de MM. Eugène Flachat et E. Lorentz, nous extrayons les chiffres suivants (Compte rendu des travaux de la Société des ingénieurs civils).

Dans la marine, où le pain est fait d'avance, où l'on ne lave le linge et ne nettoie à fond le navire qu'en relâche, la consommation de chaque homme est réglée à environ 3 litres par jour; on peut donc estimer à environ 5 litres la limite inférieure de la consommation d'eau.

M. R. Thom évalue à environ 58 litres par tête et par jour la quantité d'eau maximum que réclame une abondante et large distribution.

Pour une famille d'ouvriers aisés et très-propres, composée du père, de la mère, d'une fille nubile et de deux autres enfants, M. Gravatt estime ainsi la consommation hebdomadaire (enquête de 1844) :

Lavage des légumes	63 litres.
Thé et lavage des ustensiles	64
Cuisson des légumes et autres mets	64
Propreté personnelle	127
Lavage des planchers des chambres, une fois par semaine	45
Blanchissage du linge et des vêtements	227
Arrosage d'un jardinet	45
Total	635 litres.
Soit par jour et par tête	18 litres.
Auxquels on peut ajouter :	
Pour water-closet, environ	4
Bains	3
Usages industriels (à Londres ils n'exigent que 8 litres)	15
Total	40 litres.

Dans ce dernier chiffre tout est compris, sauf les quantités nécessaires aux besoins des animaux et à ceux d'irrigations des cours, jardins et façades de maisons, dépenses d'ailleurs exceptionnelles; d'autre part, on a forcé tous les chiffres ci-dessus.

Plus récemment, la commission générale de salubrité, dans son rapport sur l'alimentation de Londres, estime que, pour subvenir aux plus

larges besoins des particuliers, y compris l'eau des grands consommateurs et industriels, ainsi que celle que demandera l'abolition complète des fosses, il faudra, par tête et par jour, moins de. . . 51,00 litres.

A ce nombre, elle ajoute pour nouveaux bains, nouvelles industries et éventualités. 11,80

En tout. 62,80

Dans le Midi, la chaleur surexcite la consommation; dans le Nord, la fumée, la boue, créent des besoins de propreté qui n'ont pas une influence beaucoup moindre. Cependant MM. Flachat et Lorentz ont adopté 70 litres pour Madrid; ils jugent ce chiffre de beaucoup au-dessus des besoins les plus larges, mais il offre l'avantage de donner toute sécurité relativement à de grands développements industriels, à l'extension de l'usage des bains et à l'imprévu.

A Paris, les fontaines jaillissantes débitent 13 200 mètres cubes d'eau par jour; mais, d'après M. Darcy, il convient de porter ce chiffre à 18 000 mètres cubes, ce qui fait 18 litres par jour par habitant.

D'une enquête faite avec soin, il résulte qu'à Londres le volume total nécessaire, par tête et par jour, pour satisfaire largement aux besoins publics est :

Arrosage et ébouage des rues.	23 litres 60 c.
Incendies et éventualités.	8 »
Total.	31 litres 60 c.

Soit moitié du volume 62^{l},80 attribué, par le projet, aux besoins des particuliers.

MM. Flachat et Lorentz ont adopté, dans le projet de Madrid, part égale, 70 litres, pour les besoins d'édilité, quantité qui les assure d'avoir largement pourvu à l'écoulement des fontaines jaillissantes. Ce chiffre de 70 litres approche de ceux des projets de Lyon et de Cette.

De toutes les considérations qui précèdent, il paraît résulter que la consommation de 150 litres par jour et par habitant est plus que suffisante pour tous les besoins d'une ville. Cependant, dans le nouveau projet de distribution d'eau dans Paris, dû à M. Belgrand, cette quantité serait portée à 170 litres, et c'est à ce résultat que M. Darcy arrive dans son *Étude de la distribution d'eau dans les villes* (*Fontaines publiques de la ville de Dijon*).

TABLEAU des quantités d'eau distribuées dans quelques villes, par jour et par habitant.

NOMS DES VILLES.	POPULATIONS.	EAU FOURNIE.	COURS D'EAU sur lesquels sont les villes.
		litres.	
Rome ancienne. . .	1 200 000	1 084	Tibre.
Rome moderne. . .	136 000	1 105	Tibre.
New-York.	312 000	568	»
Marseille.	185 000	170	»
Carcassonne	15 500	100	Aude et canal du Languedoc.
Besançon.	35 000	246	Canal.
Dijon.	25 000	240	Ouche et torrent de Suzon.
Philadelphie	240 000	225	Schuylkill et Delaware.
Richemond.	20 000	180	James.
Bordeaux.	132 000	170	Garonne.
Glasgow.	395 000	113	Clyde et 3 canaux.
Londres.	1 924 000	112	Tamise et New-River.
Gênes.	90 000	110	Bisagno, Rochetta, Polievera.
Cette.	18 000	Projet 106	»
Lyon.	206 000	85	Rhône, Saône et sources.
Narbonne.	10 500	85	Canal.
Manchester.	180 000	84	2 canaux et 2 petits cours d'eau.
Bruxelles.	250 000	80	»
Toulouse.	52 000	80	Garonne et canal.
Munich.	90 000	80	Isar et canaux.
Genève.	50 000	74	Lac Léman et Rhône.
Paris.	1 000 000	69	Seine, Ourcq, Bièvre.
Nantes.	100 000	60	Loire.

MOTEURS HYDRAULIQUES.

195. Pour l'établissement d'un moteur hydraulique, la chute dont on peut disposer, dite *chute disponible*, est égale à la chute totale du cours d'eau, c'est-à-dire à la différence de niveau de l'eau en aval de la première des usines d'amont et de l'eau dans le canal d'aval de l'usine à établir, diminuée de la pente nécessaire à l'écoulement de l'eau entre les deux usines et de celle nécessaire au chenal qui conduit l'eau dans le canal d'aval (171).

Le canal d'arrivée doit avoir, autant que possible, près des vannes, une section au moins égale à 10 ou 12 fois celle de la plus grande ouverture de l'orifice, afin de diminuer la dénivellation et par suite la perte de chute. Un canal de dérivation doit avoir la même profondeur que le canal principal, avec lequel il doit se raccorder par des parties arrondies; on diminue ainsi la contraction et par suite la dénivellation (172).

Le travail par éclusées, qui consiste à retenir l'eau dans des étangs pendant les interruptions de travail, afin d'augmenter momentanément la puissance des moteurs, n'est pas permis; car s'il est avan-

tageux aux usines d'amont, il est très-gênant pour celles d'aval. On ne le tolère que quand il remonte à des époques pour lesquelles il y a prescription, ou auxquelles l'usine supérieure existait seule.

A l'origine des canaux de dérivation, on établit des vannes de *prise d'eau ou de garde*, qui permettent de régler l'arrivée de l'eau dans le canal, ou même de l'interrompre. Comme un canal de prise d'eau ne doit pas servir en général à l'évacuation des crues, quoique parfois la vitesse de l'eau puisse y être augmentée notablement sans que l'on ait à redouter la dégradation des parois, on élève les murs bajoyers ou les charpentes qui les remplacent jusqu'au-dessus du niveau des plus hautes eaux, et on les réunit par une fausse vanne ou tête d'eau solide qui s'élève à la même hauteur. Si le cours d'eau est susceptible d'entraîner des corps flottants, arbres, pièces de charpente, etc., ou de rouler des rochers, il est bon de préserver les vannes de prise d'eau par une estacade formée de poteaux verticaux de $0^m,20$ à $0^m,25$, et établie obliquement de manière à rejeter ces corps entraînés vers le courant principal. Enfin, il est prudent de ménager dans les bajoyers des rainures verticales de $0^m,15$ à $0^m,20$ destinées à recevoir des poutrelles contre lesquelles on peut appuyer un batardeau en cas de réparation.

196. *Règlement des eaux.* Dans l'établissement d'un canal ou d'un barrage, on ne peut tenir les eaux à un niveau supérieur à $0^m,20$ en contre-bas des terrains environnants, à moins qu'on ne soit autorisé à construire des digues le long des rives.

Quand l'usine est établie en travers d'un cours d'eau naturel, le niveau de l'eau doit être maintenu entre de certaines limites, même en temps de crues. Pour cela, on établit près de l'usine un déversoir de superficie dont la crête se trouve à une hauteur fixée par le règlement d'eau, et indiquée sur une partie fixe des maçonneries des bâtiments voisins par une ligne qui y est creusée au ciseau ou par une pièce de fer qu'on y a scellée. Ce déversoir, construit ordinairement le long d'une des rives, avec une largeur au moins égale à la largeur moyenne de la rivière, suffit pour maintenir le niveau entre des limites convenables en temps d'étiage et d'eaux moyennes ; mais il n'en est pas ainsi en temps de crues ; aussi, pour assurer le régime des eaux, construit-on des vannes de décharge ou pertuis de fond capables de débiter, conjointement avec le déversoir, le produit des crues.

Sur un canal de dérivation établi avec des dimensions convenables, on construit également tout près de l'usine un déversoir et une vanne de décharge. Le déversoir n'a alors pour objet que de laisser évacuer l'excès accidentel d'eau qui peut résulter de la diminution de la dépense ou de la cessation momentanée du travail, sans que l'on ait besoin, pour maintenir un niveau convenable dans le canal, de manœuvrer les vannes de prise d'eau, qui sont ordinairement assez éloignées.

de l'usine. Ce déversoir est nécessaire aussi pour assurer le travail à l'eau courante des usines qui peuvent se trouver en aval sur le canal de fuite; sa largeur est ordinairement égale à une fois et demie la largeur du canal à la surface de l'eau. Quant aux vannes de décharge, elles servent dans ce cas à vider le canal, ou à y laisser couler momentanément l'eau avec une vitesse suffisante pour que les vases soient entraînées, sans que le fond soit dégradé. Le seuil de ces vannes est au niveau du fond du canal, et précédé d'un avant-radier en bonne maçonnerie.

197. *Roues à aubes planes recevant l'eau en dessous, ou roues à choc.* Pour que, dans une roue verticale à aubes planes recevant l'eau en dessous, il y ait équilibre dynamique, on doit avoir théoriquement, d'après M. Belanger,

$$T_m = \frac{1}{2} mV^2 - \frac{1}{2} m(V-v)^2 - \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mgh' \left(\frac{V}{v} - \frac{v}{V}\right).$$

m masse de l'eau dépensée par seconde (20);
V vitesse d'arrivée de l'eau sur la roue;
v vitesse que conserve l'eau en quittant la roue, ou vitesse du centre d'impulsion des aubes;
h' épaisseur de la lame fluide à sa sortie de la roue;
T_m quantité de travail produite par seconde;
$\frac{1}{2} mV^2$ force vive que possède l'eau au moment de son choc sur la roue (29);
$\frac{1}{2} m(V-v)^2$ perte de force vive due au choc de l'eau sur la roue;
$\frac{1}{2} mv^2$ perte de force vive due à la vitesse que conserve l'eau en quittant la roue.

En négligeant, comme on l'a fait jusqu'à présent, le terme $-\frac{1}{2} mgh' \left(\frac{V}{v} - \frac{v}{V}\right)$, dû à l'élévation de niveau de l'eau en passant de la vitesse V à celle v, on a

$$T_m = \frac{1}{2} mV^2 - \frac{1}{2} m(V-v)^2 - \frac{1}{2} mv^2, \quad \text{d'où} \quad T_m = mv(V-v).$$

Ce qui fait voir que, pour une même valeur de V, T_m sera le plus grand possible quand le produit $v(V-v)$ sera maximum; ce qui existera quand on aura $v = V - v$ ou $V = 2v$; car si l'on considère V comme étant le diamètre d'un cercle, $v(V-v)$ sera égal au carré d'une perpendiculaire abaissée d'un point de la circonférence sur le diamètre qu'elle divise en deux segments v et $V-v$ (*Int.*, 619); or cette perpendiculaire, et par suite son carré, aura la plus grande valeur possible, quand elle passera au centre (*Int.*, 945), ce qui donnera bien $v = V - v$. De plus, en examinant de quelle manière varie la perpendiculaire en faisant

varier v et par suite $V - v$, on voit qu'elle ne change pas sensiblement tant que v reste compris entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{2}{3}$ de V. Ainsi, pour ce genre de roues, l'effet maximum aura lieu quand la vitesse de la roue sera moitié de la vitesse avec laquelle l'eau vient la frapper, et cet effet maximum ne diminuera pas sensiblement tant que v restera compris entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{2}{3}$ de V.

Remplaçant dans le second membre de la formule précédente v par $\frac{V}{2}$, on a

$$\mathcal{T}_m = \frac{mV^2}{4} = \frac{Ph}{2}.$$

$P = mg$ poids d'eau dépensé par seconde (23);

$h = \frac{V^2}{2g}$ chute effective, que l'on prend égale à la différence de niveau de l'eau en amont de la vanne et derrière la roue (133).

Cette dernière formule fait voir que l'effet utile maximum n'est que moitié du travail total dépensé.

Dans la dernière valeur de $\mathcal{T}_m$, on fait $V^2 = 2gh$, ce qui suppose que la hauteur du niveau de l'eau dans le bief supérieur, au-dessus du centre de la gravité de l'ouverture de la vanne, est égal à h, et que la vitesse de l'eau n'est pas diminuée entre la vanne et la roue (134).

Les pertes d'eau et les divers frottements, qu'on a négligés dans l'établissement des formules précédentes, font que le travail utile effectif n'est que les 0,60 environ du travail moteur théorique; ainsi on a seulement

$$\mathcal{T}_m = 0{,}60\,\frac{Ph}{2} = 0{,}30Ph.$$

Avec de bonnes dispositions de roues, on peut augmenter cet effet utile.

La théorie donne $v = \frac{1}{2}V$ pour le maximum d'effet; mais les roues construites fournissent ordinairement $v = \frac{2}{5}V$.

L'effet utile de ce genre de roues est faible; mais comme il est indépendant du diamètre de la roue, que l'on peut faire varier de 2 mètres à 8 mètres, et que de plus on peut, sans altérer sensiblement cet effet utile, faire varier la vitesse dans des limites étendues, ces roues sont convenables quand on a besoin d'une grande vitesse directe de rotation, et surtout quand on est obligé de faire varier cette vitesse dans des limites étendues.

Il convient, pour que la marche de la roue soit régulière, que sa vitesse au centre d'impulsion des aubes ne soit pas inférieure à un mètre.

Le jeu entre les aubes et le coursier ne peut guère être inférieur à $0^m,01$, et il s'élève parfois à $0^m,02$ et $0^m,03$.

Il convient d'incliner la vanne, afin de rapprocher, autant que possible, son ouverture du point d'action de l'eau sur la roue; ce qui diminue les frottements de l'eau dans le coursier, et augmente le coefficient de dépense de la vanne (147).

D'après M. Belanger, on peut conclure qu'il convient de donner au fond du coursier, entre la vanne et la roue, une inclinaison de 1/12 à 1/15; de le faire concentrique à la roue sur une étendue au moins égale au double de l'intervalle de deux aubes consécutives, divisée en deux parties égales par la verticale passant par l'axe de la roue; de prolonger ensuite le fond du coursier par un plan légèrement incliné, de $1^m,50$ à 2 mètres de longueur, se raccordant avec le canal de fuite; ce plan étant incliné de manière qu'au point où il se raccorde avec le canal de fuite, la profondeur d'eau soit égale ou un peu supérieure au double de la levée de la vanne. On incline ensuite le canal de fuite de 1/15 *sur* une longueur de 10 mètres, et de plus, si les localités le permettent, on l'élargit graduellement de $0^m,50$ de chaque côté pour cette longueur de 10 mètres; il faut éviter de faire cet élargissement d'une manière brusque.

D'après M. Belanger, il y a théoriquement avantage de faire plonger les aubes quelle que soit leur vitesse, tant que leur enfoncement dans l'eau ne dépasse pas l'épaisseur convenable $0^m,15$ à $0^m,20$ de la veine fluide à son arrivée sur la roue, et même plus si la vitesse est très-grande. La pratique a confirmé cet avantage, tant que la partie plongée des aubes ne dépasse pas les 2/3 ou les 3/4 de l'épaisseur de la lame fluide, et elle a appris, en outre, qu'il n'y avait aucun inconvénient à faire plonger les aubes de toute l'épaisseur de la lame. D'après cela, il y a donc lieu de tenir le fond du coursier au-dessous du niveau de l'eau en aval de la roue.

La hauteur des aubes varie entre 2 fois 1/2 et 3 fois la levée verticale de la vanne, et leur distance, mesurée sur la circonférence passant par leur centre, entre 1 fois et 1 fois 1/2 leur hauteur.

Le nombre des aubes doit être le nombre pair le plus rapproché de 6 fois le diamètre moyen de la roue exprimé en mètres; la difficulté de placer convenablement ce nombre d'aubes, à cause de la position des bras, peut seule le faire modifier.

Le plus habituellement le diamètre de ces roues varie de 3^m à 5^m, et elles ont 6 bras.

D'après Deparcieux, une inclinaison de 20 à 22° des aubes sur le rayon, du côté qu'elles reçoivent l'eau, augmente un peu l'effet utile de la roue; cependant d'autres expériences de Bossut avaient confirmé le contraire, et dans la pratique il ne convient guère de les *incliner* que quand la roue est sujette à être noyée, parce qu'alors

cette disposition permet aux aubes de sortir plus facilement de l'eau.

La chute maxima convenable à ce genre de roues est $1^m,30$; pour des chutes plus grandes, le choc de l'eau contre la roue donne une perte de force vive considérable.

Application. La dépense est 700 litres d'eau par seconde, et la chute $1^m,06$; quel est le travail moteur que rendra la roue?

Remplaçant P et h par leurs valeurs dans l'expression de $\mathcal{T}_m$, on a

$$\mathcal{T}_m = 0,30 \times 700 \times 1,06 = 222^{km},6.$$

Ce qui fait $$\frac{222,6}{75} = 2,97 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Ayant (134) $$V = \sqrt{2gh} = 4^m,56,$$

la vitesse de la roue, au centre d'impulsion des aubes, doit être de $2^m,28$.

La roue devant faire 9 tours par minute, par exemple, son rayon r, mesuré au centre d'impulsion des aubes, se déduit de l'équation

$$2\pi r \times 9 \quad \text{ou} \quad 2 \times 3,14 \times r \times 9 = 2^m,28 \times 60,$$

d'où

$$r = \frac{2,28 \times 60}{2 \times 3,14 \times 9} = 2^m,42.$$

192. *Roues à aubes courbes recevant l'eau en dessous, dites roues à la* Poncelet (*fig.* 25).

Pour que dans une roue à la Poncelet il y ait équilibre dynamique, on doit avoir

$$\mathcal{T}_m = \frac{1}{2} mV^2 - \frac{1}{2} m(V - 2v)^2.$$

m masse de l'eau dépensée par seconde (20);
V vitesse d'arrivée de l'eau sur la roue;
v vitesse de la roue;
$V - 2v$ vitesse absolue que conserve l'eau en quittant l'aube;
$\mathcal{T}_m$ quantité de travail produite par seconde;
$\frac{1}{2}mV^2$ force vive que possède l'eau à son arrivée sur la roue;
$\frac{1}{2}m(V-2v)^2$ perte de force vive due à la vitesse que conserve l'eau.

$\mathcal{T}_m$ sera maximum quand la perte de force vive $\frac{1}{2} m(V - 2v)^2$ sera nulle, c'est-à-dire quand on aura $V = 2v$, ce qui donne

$$\mathcal{T}_m = \frac{1}{2} mV^2 = Ph. \qquad \text{(page 188.}$$

formule qui fait voir que le travail utile théorique est égal au travail dépensé, et double de celui produit par les roues à aubes planes (497).

Les formules précédentes ne peuvent être vraies qu'autant que l'eau ne produit pas de choc contre les aubes, c'est-à-dire qu'autant que toute l'eau arrive tangentiellement à ces aubes ; ce qui est impossible dans la pratique, à cause de l'épaisseur de la lame fluide, quelle que soit du reste la forme des aubes. Il y a donc toujours choc, d'où il résulte une perte de force vive, qui a été négligée dans les formules. Jamais non plus l'eau ne reste sans vitesse après avoir quitté la roue. On a aussi négligé les pertes d'eau, ainsi que le frottement de l'eau et celui des tourillons.

Malgré toutes ces causes de diminution de l'effet utile, l'expérience prouve qu'avec de bonnes dispositions de roues on obtient

$T_m = 0{,}65Ph$ pour des chutes de $1^m{,}20$ et au-dessous.
$T_m = 0{,}60Ph$ id. $1{,}30$ à $1^m{,}50$,
$T_m = 0{,}55$ à $0{,}50Ph$ id. $1{,}80$ à $2{,}00$.

Sauf des circonstances particulières, il convient de n'employer ces roues que pour des chutes inférieures à $1^m{,}50$, et elles sont surtout avantageuses pour des chutes qui ne dépassent pas 1 mètre.

D'après les expériences de M. Poncelet, on doit avoir dans la pratique $v = 0{,}55V$.

La forme de l'aube peut être une courbe quelconque, pourvu qu'elle soit continue ; le plus souvent c'est un arc de cercle. Dans tous les cas, elle doit être normale, ou à peu près, à la circonférence intérieure de la roue au point où elle la rencontre, et faire avec la circonférence extérieure un angle de 25 à 30°.

La vitesse de la roue étant environ moitié de celle d'arrivée de l'eau, il suffit, pour que celle-ci ne saute pas au-dessus des aubes quand la roue est en marche, que la distance entre les circonférences intérieure et extérieure de la roue soit le 1/4 de la hauteur de chute, plus l'épaisseur de la lame d'eau à son arrivée sur la roue ; mais, pour éviter que l'eau ne jaillisse encore dans la roue, il convient de la faire égale au 1/3 de la chute, plus l'épaisseur de la lame fluide. (Consulter la règle page 494.)

L'écartement des aubes à la circonférence extérieure de la roue varie de $0^m{,}25$ à $0^m{,}30$. Leur plus courte distance doit être moindre que la levée minimum de la vanne. Leur nombre doit être divisible par celui des bras.

La levée verticale de la vanne varie de $0^m{,}20$ à $0^m{,}30$ et on peut la porter à $0^m{,}40$ dans les cas de fortes dépenses d'eau et de petites longueurs de roues.

L'écartement intérieur des couronnes doit être de $0^m{,}06$ à $0^m{,}10$ plus grand que la largeur de l'orifice de la vanne.

Le fond du bief supérieur est à peu près horizontal; on le raccord avec le coursier, dont la pente varie entre 1/10 et 1/15, depuis la vann jusqu'à son point de tangence avec la circonférence extérieure de l roue. A partir de ce point, le coursier est concentrique avec la rou jusqu'à une distance, en aval de la verticale passant par l'axe de l roue, comprise entre 1 fois et 1 fois 1/2 l'intervalle de deux aub consécutives. Enfin, le coursier se termine par un ressaut de 0^m,30 0^m,40 de profondeur, dont le sommet doit être au niveau des eau moyennes dans le canal de fuite. La largeur du coursier, entre l vanne et la roue, est égale à celle de l'ouverture de la vanne; l partie qui touche la roue est élargie de manière à envelopper les cou ronnes en laissant un centimètre de jeu de chaque côté. Le coursie doit conserver cette largeur jusqu'à une hauteur de 0^m,10 au-dessu du point le plus élevé de l'ouverture de la vanne.

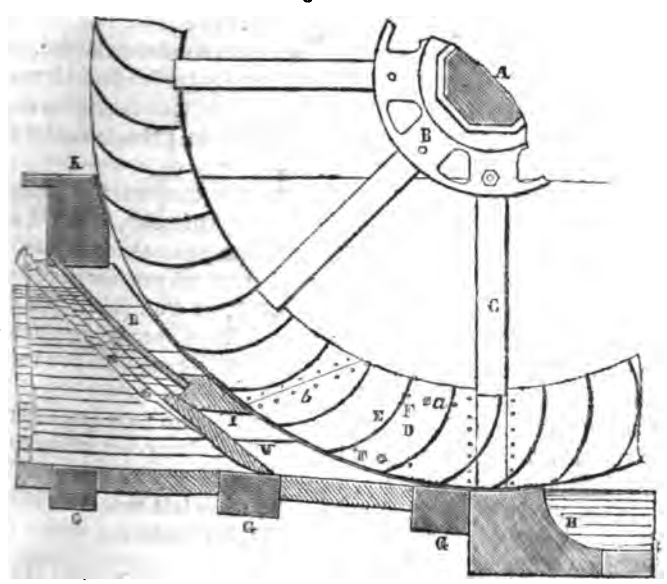
L'inclinaison de la vanne varie de un à deux de base pour deux d hauteur; ce qui porte, en arrondissant les côtés verticaux du per tuis, le coefficient de la dépense à 0,74 pour la première inclinaiso et à 0,80 pour la seconde (147).

Les aubes peuvent, sans que l'effet utile soit sensiblement diminu être noyées d'une hauteur égale à l'épaisseur de la lame fluide.

La figure 25 représente, à l'échelle de 2 centimètres pour mètr la coupe d'une roue à la Poncelet, établie à Romilly par M. Ferr Cette roue est de la force de 50 chevaux; la chute est de 1^m,30, et l dépense de 4$^{m.c}$,810 par seconde. Par suite de considérations locales, l diamètre a été fixé à 5^m,50, la longueur à 6^m,04, et, à l'exception de tourteaux qui fixent les bras à l'arbre, qui sont en fonte, on a cr devoir faire tout en bois, même les aubes.

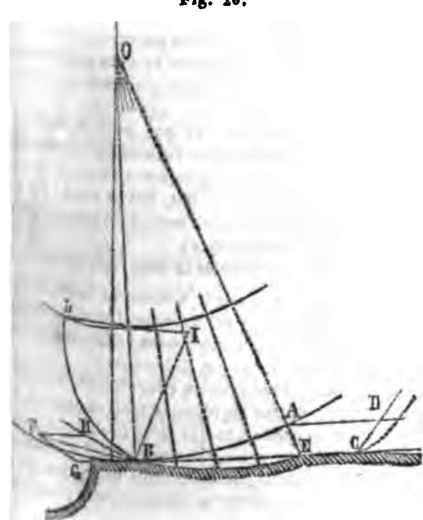
- A arbre de la roue;
- B tourteaux en fonte;
- C bras au nombre de 8;
- D couronne en bois, de 0^m.10 d'épaisseur et 0^m.66 de hauteur;
- E aubes, dont les bouts entrent dans des rainures courbes faites dans les co ronnes;
- F boulons serrant les couronnes contre les extrémités des aubes;
- *a* extrémités des boulons F qui relient la couronne visible sur le dessin à la couron qui est cachée. Cette roue, dont la longueur totale est de 6^m.04, porte ci couronnes qui la divisent en quelque sorte en quatre roues;
- *b* vis à bois réunissant les madriers de 0^m.05 d'épaisseur composant les couronne
- V vanne; de même que la roue, elle est divisée dans sa longueur en quatre parti qui reçoivent simultanément le même mouvement. Des cloisons formées madriers en bois divisent également le coursier d'amont en quatre parties;
- *m* queues des vannes; elles sont en fer, et armées à leur partie supérieure de cr maillères en fonte;
- L cloison en bois formant la retenue d'eau en s'appuyant sur les poutres K et I;
- G, G madriers en bois consolidant le dallage formant le sol du coursier;
- H ressaut formé par une bonne pierre de taille.

Fig. 25.



Les règles qui viennent d'être exposées servaient à l'établissement de ce genre de roues, lorsque M. Poncelet a proposé, pour éviter le choc de l'eau contre les aubes, de faire le coursier en spirale sur une partie de sa longueur. La figure 26 représente cette modification.

Fig. 26.



OA étant le rayon de la roue, on mène à la circonférence extérieure une tangente BC inclinée au 1/10 environ, qui représenterait le fond du coursier dans l'ancien tracé. On mène à cette tangente, à une distance égale à l'épaisseur de la lame fluide entre la vanne et la roue, une parallèle AD. On prolonge le rayon OA, et, à partir du point E, jusqu'à celui B, le coursier prend la forme d'une spirale, c'est-à-dire qu'il s'ap-

proche de la circonférence extérieure de la roue de quantités égales pour des angles égaux décrits autour du centre (*Int.*, 1140).

Avec cette disposition, les différents filets fluides de la veine, qui conserve à peu près une épaisseur uniforme entre la vanne et la roue, décriront des spirales semblables, et entreront tous dans la roue sous le même angle, c'est-à-dire sans choc, si le premier élément de l'aube est dirigé suivant cet angle.

Pour tracer l'aube, au point B on mène une tangente BF à la spirale (*Int.*, 1141); on prend, à une même échelle arbitraire, BF = 1 et, sur le prolongement de EB, BG = 0,55, vitesse normale de la roue, et BH, parallèle à GF, est la direction à donner au premier élément de l'aube. On mène BI perpendiculaire à BH, et d'un point I, pris sur cette perpendiculaire, traçant un arc qui fasse avec la circonférence intérieure de la couronne un angle aigu très-rapproché d'un droit, cet arc détermine la forme de l'aube.

Des expériences de M. Morin, sur une roue en fer et fonte à coursier spirale, de 2^{m},80 de diamètre, 0^{m},80 de longueur extérieure et 0^{m},75 de hauteur de couronne, des chutes de 1^{m},20 à 1^{m},30 quand la roue était noyée et de 0^{m},90 quand elle ne l'était pas, et des levées de vannes de 0^{m},15, 0^{m},20, 0^{m}.25 et 0^{m},277, il résulte :

1° Que le nouveau tracé du coursier et des aubes indiqué par M. Poncelet diminue beaucoup, sinon détruit entièrement, le choc de l'eau contre les aubes, et en facilite l'admission et la circulation;

2° Qu'avec cette disposition, une exécution soignée et un moment d'inertie suffisant (101), la roue acquiert la propriété, qu'elle ne possédait pas auparavant, de pouvoir marcher à des vitesses notablement supérieures ou inférieures à celle qui correspond au maximum d'effet, sans que l'effet utile s'éloigne considérablement de ce maximum;

3° Que le rapport de l'effet utile au travail total dépensé par le moteur s'est élevé à 0.60 ou 0.62 pour une roue en bois de 3^{m}.20 de diamètre et d'une puissance de 6 chevaux, mise en expérience, et que pour des roues plus puissantes il s'élèverait probablement à 0.65;

4° Que l'effet utile augmente avec la levée de la vanne, et que les levées de 0^{m}.20, 0^{m}.25 et même 0^{m}.35 paraissent favorables avec le nouveau coursier, pourvu que les couronnes soient proportionnées de façon que la capacité offerte par la roue à l'admission du liquide, à la vitesse du maximum d'effet, soit au moins 1 fois 1/2 le volume débité par la vanne, et il convient généralement de la prendre égale à 2 fois, surtout quand la roue est exposée à être noyée;

5° Que la vitesse, mesurée à la circonférence extérieure de la roue, doit être égale aux 0.50 ou 0.55 de celle $\sqrt{2gh'}$ due à la charge h' sur le sommet de l'orifice, et non sur le centre de l'orifice (147). La vitesse se calcule comme si le niveau de l'eau en aval de l'orifice s'élevait jusqu'à l'arête supérieure de cet orifice; ce qui a lieu jusqu'à un certain point, l'eau ne se dégageant pas librement;

6° Qu'à charges et levées égales de vannes, la roue rend un effet utile sensiblement le même quand elle est placée à 0^{m}.12 au-dessus du niveau d'aval, ou quand elle est noyée de 0^{m}.20 à 0^{m}.25; ce qui tient en partie à ce que sa surface extérieure n'offrait pas de parties en saillie. Le sommet du ressaut du coursier doit être placé au niveau moyen de l'eau dans le canal de fuite, toutes les fois qu'on n'aura pas à craindre des crues fréquentes et durables, et qu'on pourra donner au canal de

fuite, immédiatement auprès de la roue, une largeur égale à 5 ou 6 fois celle du coursier. Lorsque les localités forceront à ne donner au canal de fuite, près de la roue, qu'une largeur égale à celle du coursier, on fera un petit sacrifice sur la chute en plaçant le sommet du ressaut du coursier à $0^m.08$ ou $0^m.10$ au-dessus du niveau moyen des eaux d'aval. Dans ce dernier cas, la chute disponible, au lieu d'être la différence du niveau de l'eau dans le bief supérieur et dans le canal de fuite comme dans le premier cas, est égale à la hauteur du niveau d'amont au-dessus du sommet du ressaut. Le ressaut doit avoir de $0^m.30$ à $0^m.40$ au moins, et plus s'il est possible de baisser le fond du canal de fuite;

7° Que quand la roue a été noyée de $0^m.357$ (moitié de la hauteur des couronnes), elle a encore rendu un effet utile égal aux 0.46 ou 0.47 du travail total dépensé, et qu'il y a lieu de penser qu'elle aurait encore marché convenablement si on avait pu la noyer davantage;

8° Que la vitesse de la roue à sa circonférence extérieure étant à celle d'arrivée de l'eau dans le rapport indiqué (5°), quel que soit le diamètre de la roue, il suffit, pour les cas ordinaires, c'est-à-dire pour les chutes de $0^m.90$, $1^m.20$ et $1^m.30$, d'établir entre la hauteur C des couronnes, mesurée suivant le rayon, et le diamètre D de la roue le rapport

$$\frac{C}{D} = 0,25.$$

Application. Soit à établir une roue à la Poncelet, pour une chute à peu près constante de $1^m,10$, et une dépense de 1200 litres par seconde.

Admettant 0,60 pour rapport du travail moteur à l'effet total dépensé, on a par seconde

$$T_m = 0,60Ph = 0,60 \times 1200 \times 1,10 = 792^{km}.$$

La force de la roue en chevaux est

$$\frac{792}{75} = 10,56 \text{ chevaux}.$$

Prenant la levée verticale de la vanne égale à $0^m,25$, la charge sur l'arête supérieure de l'orifice sera

$$h' = 1,10 - 0,25 = 0^m,85.$$

Supposant la vanne inclinée à un de base pour un de hauteur, ce qui donne $0^m,80$ pour coefficient de la dépense, l étant la dimension horizontale de l'orifice de la vanne, on a, puisque l'on peut placer, à cause de la constance du régime, le sommet du ressaut au niveau d'aval, et qu'il se trouve à peu près à la hauteur de l'arête inférieure de l'orifice de la vanne,

$$1,2 = 0,80 \times 0,25 \times l \times \sqrt{2 \times 9,8088 \times 0,85},$$

d'où

$$l = \frac{1,2}{0,80 \times 0,25 \times 4,083} = 1^m,47.$$

On prendra pour largeur de la roue, entre les couronnes, $L = 1^m,55$.

La vitesse d'arrivée de l'eau sur la roue étant $4^m,083$, la vitesse de la circonférence extérieure de la roue sera

$$v = 0,55V = 0,55 \times 4,083 = 2^m,25.$$

La capacité annulaire comprise entre les deux couronnes est (*Int.*, 668)

$$\left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi(D-2C)^2}{4}\right)L. \qquad (a)$$

Faisant dans cette expression $D = 4C$, elle devient

$$3\pi LC^2.$$

La partie de cette capacité qui passe devant la vanne en une seconde est

$$3\pi LC^2 \times \frac{v}{\pi D} = 3\pi LC^2 \times \frac{v}{4\pi C} = 0,75LCv. \qquad (b)$$

Faisant ce volume égal à deux fois la dépense de la vanne, on a

$$2 \times 1,2 = 0,75LCv, \quad \text{d'où} \quad C = \frac{2 \times 1,2}{0,75Lv}. \qquad (c)$$

Remplaçant les lettres par leurs valeurs relatives au cas qui nous occupe, on a

$$C = \frac{2 \times 1,2}{0,75 \times 1,55 \times 2,25} = 0^m,917,$$

et par suite

$$D = 0,917 \times 4 = 3^m,668.$$

On voit que cette règle conduit à des valeurs de C plus considérables que celles qu'on a employées jusqu'à présent (page 191); ce qui augmente la difficulté de construction de la roue; mais cela a l'avantage d'empêcher l'eau de jaillir dans la roue, non-seulement pendant la marche, mais aussi lors de la mise en train.

Il peut arriver que le diamètre de la roue soit fixé par des considérations locales. Supposons, par exemple, que la condition de tenir le niveau du sol de l'usine au-dessus du niveau des plus hautes eaux oblige de faire $D = 4^m,50$.

Pour avoir la valeur de C dans ce cas, on met, en effectuant les calculs, l'expression (*a*) sous la forme

$$\pi L(-C^2 + DC).$$

L'expression (*b*) devient

$$\pi L(-C^2 + DC) \times \frac{v}{\pi D} \quad \text{ou} \quad (-C^2 + DC) \times \frac{Lv}{D},$$

rablement, il vaut mieux verser toute l'eau dans un seul compartiment de la roue en n'abaissant qu'une partie de la vanne, disposée à cet effet, que de la verser sur toute la roue en abaissant faiblement toute la vanne.

L'arête supérieure du col de cygne doit être placée à un niveau tel, que pendant les plus basses eaux toute l'eau que doit débiter la roue puisse passer par dessus. La vanne doit être telle, que quand elle est fermée, son arête supérieure se trouve à $0^m,10$ ou $0^m,12$ au-dessus du niveau de l'eau, et d'autant au-dessous de la crête du col de cygne.

La direction de la vanne se prend perpendiculaire au rayon de la roue mené un peu au-dessus du filet moyen du déversoir, lequel se trouve aux 3/5 environ de la profondeur de l'orifice. La vanne verse ainsi l'eau le plus près possible de la roue, sans qu'elle puisse, dans aucune position, être rencontrée par les aubes.

Ordinairement les aubes sont planes et dirigées suivant le rayon; mais il convient, afin de diminuer le choc de l'eau, de diriger leur premier élément suivant la direction de la vitesse W, et de les faire courbes comme pour les roues à la Poncelet. C'est ce que l'on fait quand elles sont en tôle; mais quand elles sont en bois, on les compose de deux parties planes, l'une dirigée suivant la direction de W et égale à peu près aux 2/3 de la profondeur de l'auget; l'autre inclinée à 45° sur le rayon, et raccordant la première avec la fonçure de la roue.

Les aubes sont en planches de chêne, et plus souvent d'orme, de $0^m,025$ d'épaisseur, lavées à la scie seulement, à l'exception du bord extérieur que l'on dresse et que l'on fait un peu en biseau, afin de laisser le moins de jeu possible entre les aubes et le coursier. Ce jeu ne doit pas dépasser 2 à 3 millimètres.

Le centre de la roue doit toujours être placé au-dessus du niveau de l'eau dans le bief supérieur, et, s'il est possible, à $0^m,50$ au-dessus de ce niveau. Avec cette précaution, la partie extérieure de l'aube peut être dirigée suivant le rayon de la roue, ce qui facilite la construction.

La capacité de l'aubage doit être à moitié remplie par l'eau, et ne doit jamais l'être à plus des deux tiers, quand le volume à débiter est constant. Dans tous les cas, cette capacité doit être suffisante pour débiter les plus grandes eaux.

On fait la longueur des aubes égale à la largeur de la vanne, et on ménage dans la fonçure de la roue des petits espaces libres pour le dégagement et l'entrée de l'air quand l'eau entre dans l'aubage ou qu'elle en sort.

L'espacement des aubes peut varier de $0^m,33$ à $0^m,40$.

Il convient, d'après M. Belanger, pour utiliser le mieux possible la chute, de faire plonger les aubes dans l'eau d'aval de toute l'épaisseur de la lame admise entre elles; de supprimer le ressaut brusque que l'on

était dans l'habitude de faire; mais de prolonger le fond du coursier circulaire par un plan incliné au 1/12 environ, jusqu'à une distance de 3 ou 4 mètres de l'aplomb de la roue. Ce plan incliné conserve à l'eau la vitesse de la roue jusqu'à ce qu'elle quitte celle-ci ; et, en vertu de cette vitesse acquise, l'eau vient même refouler celle d'aval de manière à en débarrasser la roue, qui peut alors plonger, quand elle est au repos, d'une épaisseur supérieure à celle de la lame admise entre les aubes. Les joues latérales du coursier se prolongent en aval par des plans verticaux qui s'étendent jusqu'à l'extrémité du plan incliné, et on les élève à un niveau supérieur à celui des plus grandes eaux d'aval qui permet encore de marcher.

Les expériences suivantes, faites par M. Morin, sur une roue de la poudrerie du Bouchet, confirment les avantages des dispositions conseillées par M. Belanger. Cette roue a 4 mètres de diamètre, le plan incliné au 1/12 se prolonge jusqu'à 3^{m},50 environ en aval de la roue, et la capacité de l'auget est environ 0$^{m.c.}$,228. M. Morin, en abaissant la vanne à différentes hauteurs, de manière à faire varier les dépenses d'eau et les vitesses, a observé à quelle distance horizontale en aval l'axe de la roue se produisait le remous; dans tous les cas, l'eau entrait très-bien dans la roue.

ABAISSEMENT de la vanne.	VITESSE de la circonférence extérieure de la roue.	HAUTEUR dont la roue est noyée au repos.	ÉPAISSEUR de la lame d'eau dans l'auget du bas.	DISTANCE horizontale à laquelle se forme le remous.	RAPPORT du volume d'eau admis à la capacité des augets.
m 0.20	m 2.235	m 0.35	m 0.12	m plus de 2.00	$\frac{1}{3.44}$
0.22	1.860	*id.*	0.12	1.45	$\frac{1}{3.17}$
0.24	2.140	*id.*	0.11	2.00	$\frac{1}{3.5}$
0.34	3.350	*id.*	0.11	2.50	$\frac{1}{3.72}$

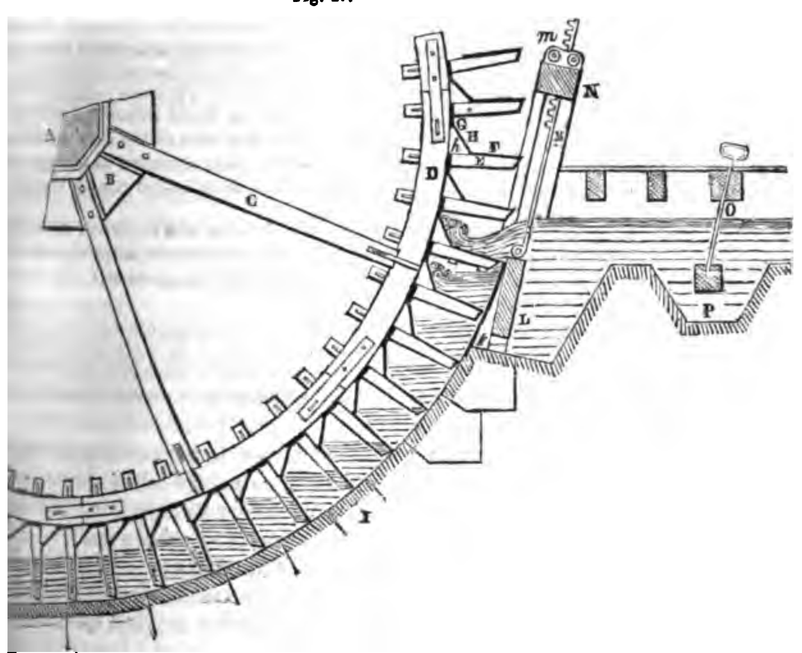
Le diamètre de ces roues ne peut guère avoir moins de 4 mètres.

Les roues de 4 mètres peuvent n'avoir que six bras par couronne ; celles de 5 à 7 mètres en ont 8.

Les chutes auxquelles on peut appliquer ce genre de roues avec avantage ne peuvent être supérieures à 2^{m},50 ni inférieures à 1^{m},20.

La figure 27 représente, à l'échelle de 2 centimètres pour mètre, la coupe verticale perpendiculaire à l'axe d'une roue de côté. La chute est de 2^{m},475, et la dépense, de 1200 litres par seconde (Extrait de la publication industrielle de M. Armengaud).

Fig. 27.



A arbre de la roue;
B tourteaux en fonte servant à fixer les bras à l'arbre;
C bras boulonnés sur les tourteaux et assemblés à tenons et mortaises dans les couronnes;
D couronnes en bois de chêne formées de plusieurs segments assemblés entre eux par des languettes et des équerres en fer;
E coyaux ou bracons en chêne ajustés dans les couronnes et retenus par des clefs en bois fortement serrées;
F aubes en bois d'orme ordinairement, ou de chêne; elles sont boulonnées sur les coyaux;
G contre-aubes cylindriques clouées sur la circonférence extérieure des couronnes;
H contre-aubes planes inclinées s'appuyant sur les aubes et les contre-aubes et clouées sur des tasseaux *h*;
I coursier en pierre de taille, ou en briques, ou en bois de chêne; il s'élève latéralement sur toute la partie soumise à l'action de l'eau; au dessus de cette limite, il est surmonté d'un côté par le mur de l'usine, appelé mur de *tampanne*, et de l'autre, par un mur qui supporte le palier de la roue, et que l'on appelle mur d'*éperon;*
k plaque de fonte, appelée *col de cygne*, formant le sommet du coursier et destinée à rapprocher le plus possible la vanne de la roue;
L vanne plongeante en bois de chêne;
M crémaillère servant à manœuvrer la vanne;
m pignon s'engrenant avec la crémaillère M;

N chapeau en bois supportant toute la transmission de mouvement de la vanne; il est assemblé à ses extrémités sur deux poteaux en bois portant des rainures dans lesquelles glisse la vanne. Les parties frottantes de la vanne et de ces rainures sont garnies de bandes de fer plates, afin de diminuer le frottement;

O barreaux en fer méplat de $0^m.06$ de large sur $0^m.007$ d'épaisseur, espacés de $0^m.08$ à $0^m.09$, de manière à former une grille en forme d'éperon qui règne sur toute la largeur du canal. Cette grille est destinée à arrêter les corps flottants qui pourraient détériorer la roue. Les barreaux O portent un anneau à leur partie supérieure, afin qu'on puisse les retirer facilement quand on veut enlever les immondices;

P espace où s'accumulent les corps lourds, qui sans cela viendraient s'amonceler derrière la vanne plongeante et empêcher sa manœuvre. Malgré cette précaution, il faut encore laisser derrière cette vanne un espace libre, dont les dimensions permettent un nettoyage facile.

Dans le mur d'éperon, à l'extrémité de la fosse P, se trouve une vanne dont la crête règle le niveau supérieur des eaux, et qui descend jusqu'au fond de cette fosse, de sorte qu'en la levant, après avoir fermé la vanne plongeante L, les eaux entraînent les immondices accumulés dans la fosse P. C'est à cet instant qu'il convient de pouvoir enlever les barreaux O.

On construit encore des roues de côté dont la vanne est disposée avec charge sur le sommet; mais on ne doit employer cette disposition que quand la vitesse v de la roue est ou peut devenir trop grande pour que l'on puisse obtenir une vitesse V convenable au moyen d'un déversoir. Il peut arriver aussi que le niveau de l'eau dans le bief supérieur soit trop variable, ou que le fond du lit soit trop mobile pour pouvoir établir une vanne plongeante. Ces roues mixtes rendent un effet utile d'autant moindre, que la vanne est placée plus bas par rapport à la chute totale; cet effet est les 0,40 environ du travail total dépensé pour des vitesses de roues approchant de 3 mètres; si, au contraire, la vitesse de la roue n'est que de $1^m,50$, ce qui permet de baisser un peu moins la vanne, l'effet utile peut atteindre les 0,50 du travail total dépensé.

200. La machine à vapeur de Chaillot élève l'eau dans des bassins étagés à des niveaux différents. M. Mary a utilisé la chute de l'eau d'un des bassins dans l'autre pour faire mouvoir une roue hydraulique qui élève, à l'aide de pompes, une portion de l'eau dans un petit réservoir placé à un niveau convenable pour alimenter les quartiers élevés de Chaillot et du Roule.

La roue de M. Mary est une roue de côté, mais d'une construction particulière. Elle est formée de six aubes à peu près circulaires, de $0^m,30$ de diamètre, adaptées au pourtour d'un cylindre en fonte de $0^m,11$ de longueur et $1^m,20$ de rayon, formé par une couronne, et deux disques annulaires plans de $0^m,30$ de largeur, perpendiculaires à l'axe, et auxquels sont assujettis les six bras à fortes nervures de la roue. Pour séparer les eaux d'amont de celles d'aval, deux plaques en fonte, noyées en parties dans la maçonnerie, viennent s'appuyer sur les disques de la couronne, et forment, dans leur partie inférieure, les lèvres

d'un coursier annulaire en ciment de Vassy, calibré avec les aubes elles-mêmes, qui s'y emboîtent ainsi très-exactement. Ce coursier doit se prolonger au delà du plan vertical contenant l'axe de la roue sur une longueur égale à la moitié de l'intervalle des aubes, et se terminer au niveau des eaux d'aval ; du côté d'amont, il s'évase en entonnoir pour faciliter l'entrée de l'eau, qui en couvre ainsi l'orifice, et y pénètre comme elle le ferait dans une conduite placée au fond d'un réservoir. Il résulte de cette disposition que l'eau de la retenue agit sur les palettes comme elle agirait sur un piston.

La roue ne perd à peu près rien de son effet utile quand l'eau s'élève en amont jusqu'au point de surmonter le cylindre sur lequel sont fixées les aubes.

La vitesse de la roue ne doit pas excéder $1^m,30$ par seconde.

Il paraîtrait que des expériences au frein auraient donné 75 à 85 pour cent d'effet utile ; mais ces nombres paraissent exagérés.

M. Mary a fait construire une roue semblable à la prise d'eau de la Villette, pour fouler l'eau à Montmartre. Il y a six palettes portées par un cylindre de $0^m,57$ de longueur et 1 mètre de rayon ; elles sont rectangulaires, arrondies aux angles, et ont $1^m,80$, sur $0^m,75$ suivant le rayon ; elles sont formées d'une forte plaque de tôle sous laquelle est fixé un fort madrier en bois dont la forme imite jusqu'à un certain point celle de la proue d'un bateau. Malgré cette précaution, les aubes font tellement jaillir l'eau en y pénétrant, que le rendement en est considérablement diminué.

Cette roue, qu'il ne peut être convenable d'employer que quand la variation de niveau est considérable, n'est applicable qu'à un débit d'eau constant. Du reste, malgré les perfectionnements dont elle est susceptible, son prix élevé et sa difficulté d'exécution ne lui permettent guère de devenir un moteur applicable à l'industrie. Un avantage de cette roue, c'est qu'elle est un compteur assez exact.

201. *Roues à augets* (fig. 31, page 212). L'équilibre dynamique de ces roues a la même expression que pour les roues de côté (199). Ainsi on a, pour une seconde, en négligeant les pertes d'eau, le frottement contre le coursier, quand il y en a un, et le frottement de l'axe de la roue,

$$\mathcal{T}_m = Ph - \frac{P}{2g}(V^2 + v^2 - 2Vv\cos\alpha) - \frac{P}{2g}v^2.$$

Les lettres ont les mêmes significations qu'au n° 199.

La formule précédente peut être mise sous la forme

$$\mathcal{T}_m = Ph - \frac{PV^2}{2g} + \frac{Pv}{g}(V\cos\alpha - v);$$

d'où l'on conclut, comme pour les roues de côtés, que l'effet utile $\mathcal{T}_m$

augmente à mesure que $\frac{PV^2}{2g}$ diminue et que le terme $\frac{Pv}{g}(V\cos\alpha - v)$ augmente; or, pour un même poids d'eau P, $\frac{PV^2}{2g}$ dépendant de la vitesse V, il faudra par conséquent rendre cette vitesse aussi petite que possible. Le terme $\frac{Pv}{g}(V\cos\alpha - v)$ sera maximum quand, pour des valeurs déterminées de V et v, α sera nul; cet angle est toujours très-faible pour les roues recevant l'eau près du sommet. On voit aussi que, pour des valeurs déterminées de V et de α, le terme précédent sera maximum quand on aura $v = \frac{V\cos\alpha}{2}$, d'où, en supposant $\cos\alpha = 1$, $v = \frac{V}{2}$. Dans la pratique, la valeur de v peut varier des 0,30 aux 0,80 de V sans que l'effet utile soit sensiblement altéré; cependant, pour les petites roues, il convient de tenir v entre les 0,40 et 0,60 de V. Cette propriété des roues à augets, de permettre une aussi grande variation de vitesse de rotation, les rend précieuses dans un grand nombre de circonstances, comme, par exemple, pour les marteaux, où non-seulement la vitesse est grande, mais aussi doit varier à chaque instant entre des limites très-éloignées.

La vitesse des roues à augets ne doit pas être inférieure à 1 mètre pour que leur marche soit régulière, et elle peut atteindre 2 mètres pour les petites roues, et $2^m,50$ pour les grandes, sans que l'effet utile soit sensiblement altéré. Pour les roues de marteaux, dont l'arbre porte la bague à cames, la vitesse atteint quelquefois 4 et 5 mètres, quoique leur diamètre ne soit que de 3 à 4 mètres; mais alors l'effet utile est diminué.

Les augets commençant à verser leur eau avant d'être arrivés au point le plus bas de la roue, il en résulte une perte d'effet utile d'autant plus forte que la hauteur de versement et la quantité d'eau versée sont plus grandes, et que par conséquent le diamètre et la vitesse de la roue sont plus grands. C'est afin d'éviter ce versement que l'on enveloppe quelquefois la roue d'un coursier, depuis le point où commence le versement jusqu'à celui où les augets sortent de l'eau.

Versement des augets. L'action réciproque de la pesanteur et de la force centrifuge fait que la surface du liquide contenu dans l'auget prend une forme cylindrique à section circulaire, dont le centre O est, d'après M. Poncelet, situé sur la verticale passant par l'axe de la roue, à une distance au-dessus de cet axe égale à

$$\frac{g}{\omega^2}.$$

$g = 9^m.8088$ accélération de vitesse due à la pesanteur;

vitesse angulaire (400); elle est égale au quotient de la vitesse d'un point quelconque de la roue par la distance de ce point à l'axe; d'où l'on voit que la distance $\frac{g}{\omega^2}$ est indépendante du rayon de la roue.

Le centre commun O des courbes affectées par la surface du liquide contenu dans un auget étant connu, ainsi que la quantité d'eau contenue dans l'auget, il sera facile, à l'aide d'une épure, de déterminer le point où l'auget commencera à verser, puisqu'en ce point il devra encore contenir tout le fluide, et que la surface de celui-ci, qui a pour centre le point O, devra passer par l'arête extérieure de l'auget. A partir du point où l'auget commence à verser, la surface de l'eau passant toujours par l'arête extérieure de l'auget, il est facile de déterminer la quantité de liquide contenu dans l'auget en une position quelconque, et par suite la quantité de fluide perdue dans le passage de l'auget d'une position à une autre. Divisant alors la hauteur verticale h', du point où commence le versement au-dessus du niveau de l'eau derrière la roue, en un certain nombre pair de parties égales, 6 par exemple, et déterminant les quantités de liquide q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, perdues par l'auget quand il arrive successivement : au point où commence le versement, au 1er, 2e, 3e, 4e, 5e points de division de h' et au bas de h', la perte de travail t_p due au versement du liquide est, en appliquant la formule de Thomas Simpson (*Int.*, 1178),

$$t_p = \frac{h'}{6 \times 3} [q_0 + q_6 + 4(q_1 + q_3 + q_5) + 2(q_2 + q_4)].$$

Il est à remarquer que l'on aura $q_0 = 0$, puisque q_0 correspond au point où commence le versement; q_6, q_5 et souvent q_4 seront égaux chacun au poids total de l'eau que reçoit l'auget en passant devant la vanne, l'auget étant vide quand il arrive aux points de division de h' correspondant à ces quantités.

Supposant qu'il passe n augets par seconde devant la vanne, la perte de travail par seconde due au versement sera nt_p.

Effet utile. Une roue à augets bien disposée, enveloppée d'un coursier et marchant à une faible vitesse, rend quelquefois un effet utile $T_u = 0{,}80Ph$; mais avec les dispositions ordinairement usitées dans la pratique, la vitesse étant comprise entre 1^m^ et 2^m^, et les augets remplis à moitié, cet effet utile est généralement compris entre 0,70 et 0,75Ph, que les roues soient libres ou à coursier. Pour des vitesses plus grandes et des augets remplis au delà des 2/3 de leur capacité, cet effet descend jusqu'à 0,60Ph, surtout pour les roues sans coursier. Enfin, pour les petites roues de marteaux marchant à grande vitesse, cet effet n'est quelquefois que de 0,37Ph; ce faible rendement d'effet utile est dû à ce que l'eau tombant avec impétuosité sur la roue, qui marche très-vite, elle rejaillit hors de la roue, ou est emportée hors

des augets par la force centrifuge; c'est surtout dans ce cas que le coursier produit une augmentation sensible d'effet utile.

Augets. La capacité des augets est les 3/4 de celle de la couronne, et comme ils ne doivent être que moitié pleins, l'eau n'occupe donc que les 3/8 de la couronne.

On a $$Q = kelV, \quad \text{d'où} \quad l = \frac{Q}{keV},$$

Q volume d'eau dépensé par seconde;
k coefficient de la dépense (139);
e levée de la vanne;
l longueur de l'ouverture de la vanne;
V vitesse d'écoulement de l'eau.

Pour que l'air se dégage facilement des augets, on fait leur longueur, c'est-à-dire la distances des couronnes, égales à l augmentée de $0^m,10$ ou $0^m,12$; on doit avoir alors (pages 195 et 196),

$$Q = \frac{3}{8}\left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi(D-2C)^2}{4}\right)L \times \frac{v}{\pi D}, \quad \text{d'où} \quad C = \frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{8}{3}\frac{DQ}{Lv}}$$

D diamètre extérieur de la roue;
C hauteur des augets, mesurée suivant le rayon; elle ne doit jamais dépasser $0^m.40$; on la fait ordinairement égale à $0^m.30$ ou $0^m.35$, et il vaudrait mieux ne lui donner que de $0^m.25$ à $0^m.28$, afin de faire agir l'eau sur la plus grande hauteur possible, et de diminuer sa vitesse relative W à son entrée dans la roue;
v vitesse de la circonférence extérieure de la roue;
$L = l + 0^m.10$ ou $0^m.12$, longueur des augets, mesurée entre les couronnes.

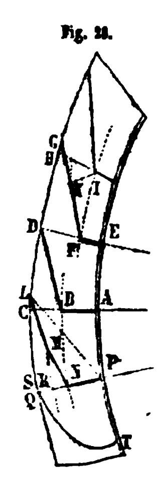
Avec une vitesse de $1^m,30$ à $1^m,40$, une roue à augets dépense convenablement de 70 à 100 litres d'eau par seconde et par mètre de longueur de roue.

La levée verticale de la vanne dépasse rarement $0^m,10$ à $0^m,12$; elle est souvent de $0^m,04$ à $0^m,05$ et quelquefois moins; cette faible épaisseur de la veine fluide rend facile son introduction dans les augets.

L'ouverture des augets, c'est-à-dire la plus petite distance de deux aubes consécutives, est égale, non compris l'épaisseur du bois qui est de $0^m,03$ environ, à l'épaisseur de la veine fluide augmentée de $0^m,04$. La distance des aubes, mesurée suivant la circonférence extérieure de la roue, varie de $0^m,30$ à $0^m,40$; elle est ordinairement égale à la hauteur des couronnes. De cet écartement et du diamètre de la roue, on déduit le nombre des aubes, qui doit toujours être divisible par celui des bras; l'espace compris entre deux bras doit contenir un nombre entier d'augets.

La forme des augets est variable; mais le plus souvent son aube se compose de deux parties, dont l'une AB est dirigée suivant le rayon de la roue et égale à la moitié de la hauteur AC de la couronne,

Fig. 28.



et dont l'autre BD joint le point B à l'extrémité D du rayon passant par le fond de l'auget suivant.

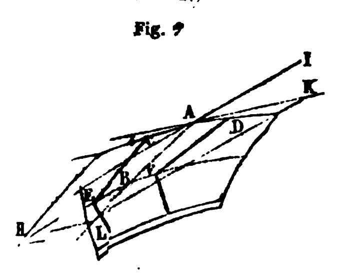
M. d'Aubuisson fait le fond EF égal au 1/3 de ED, qui est ordinairement égal à 0m,30, et il mène FG faisant l'angle GFE de 110° à 118° suivant que les roues ont de 4 mètres à 12 mètres de diamètre; l'angle que fait GF avec la tangente à la circonférence extérieure au point G est de 31°, et il ne doit jamais dépasser 33°. On obtient cette disposition dans la pratique, en prenant simplement GH égal à 0m,04 ou 0m,05, quand, comme le conseille M. d'Aubuisson, on a eu soin de prendre la distance IF égale à 0m,32 environ. Dans tous les cas, la plus petite distance IK de deux aubes consécutives, non compris l'épaisseur des aubes, doit être au moins égale à l'épaisseur de la lame fluide augmentée de 0m,01. M. d'Aubuisson conseille de ne pas donner à IK moins de 0m,11 à 0m,12.

Quelquefois la partie extérieure de l'aube est brisée comme l'indique la forme LMNP; l'angle LPN varie de 50° à 60°, et celui que fait LM avec la tangente à la circonférence extérieure au point L, de 25° à 30°. On prend PN égal à la moitié de PQ, et PR compris ordinairement entre les 3/4 et les 5/6 de PQ. Cette forme a l'avantage de donner plus de capacité à l'auget, et de diminuer le choc de l'eau ainsi que la hauteur de déversement; mais la construction en est plus difficile.

La forme d'une courbe continue S', dont l'élément extérieur fait un angle très-faible avec la tangente à la circonférence extérieure au point S, est celle que l'on doit préférer, soit pour diminuer les réactions de l'eau, soit pour augmenter la capacité des augets, soit aussi pour leur faire conserver l'eau sur la plus grande hauteur de chute possible; c'est la disposition adoptée pour les aubes en tôle, mais elle est presque impraticable pour les aubes en bois.

Direction du filet moyen. La forme de l'auget étant déterminée, il faut donner à la lame fluide une direction telle, que les différents filets qui la composent pénètrent dans l'auget en choquant le moins possible les deux faces de la partie extérieure de l'aube. Dans la pratique, on déterminera la direction à donner au filet moyen de la lame fluide qui rencontre la circonférence extérieure de la roue au point A (fig. 29), en menant la ligne AB

Fig. 29



qui divise en deux parties égales les deux arcs CD et EF, compri entre les parties extérieures des deux aubes consécutives; puis, prenant à partir du point A, sur la tangente à la circonférence extérieur de la roue, une distance AG représentant à une échelle quelconque l vitesse de la roue, si par le point G on mène GH parallèle à AB, que du point A comme centre, avec un rayon AH égal à la vitesse du filet moyen à son arrivée sur la roue, on décrive un arc de cercl qui coupe GH au point H, la ligne HA prolongée en AI représente la direction à donner au filet moyen à son arrivée sur la roue. E effet, si l'on détermine la vitesse relative W en prenant la résultant de la vitesse AH $= V$ et de AK qui est égale et directement opposé à AG $= v$ (page 197), cette résultante sera représentée en grandeur e en direction par AL; ce qu'il fallait obtenir pour que les différent filets composant la veine fluide choquassent le moins possible le deux faces de l'aube pendant tout le temps de leur introduction dan l'auget.

Si l'eau a la même vitesse moyenne dans toute la longueur d coursier d'arrivée, l'épaisseur de la lame y est uniforme, ce que l'o peut généralement supposer dans le cas des roues à augets, et l fond du coursier est parallèle au filet moyen, c'est-à-dire à Al Comme on a la vitesse de l'eau dans le coursier, ainsi que le débit é la section du coursier, on en conclut la profondeur de la lame fluid et par suite la position du fond du coursier, que l'on place à une dis tance du filet moyen égale à la demi-épaisseur de la lame. Si le cour sier était trop incliné pour que la vitesse de l'eau fût la même su toute sa longueur, on déterminerait la vitesse à son origine et à so extrémité à l'aide des formules du n° 152; de ces vitesses on conclu rait les épaisseurs de la lame fluide et par suite la position du fon du coursier par rapport à celle du filet moyen.

Dans la construction précédente, on a déterminé la direction donner au filet moyen en supposant qu'il se mouvait, après avoi quitté le coursier, dans la direction qu'il possédait avant, ce qui n pas lieu; car, outre le dénivellement qui existe à l'extrémité du cou sier et qui fait baisser un peu la direction du filet moyen, la pesan teur le fait descendre dès qu'il a quitté l'extrémité du coursier, et lui fa décrire, comme à un corps lancé dans l'espace, une parabole dont l tangente en un point quelconque représente la direction de la vites du filet moyen en ce point (*Int.*, 1125 et 1359). Il conviendra donc, da le cas où le coursier ne versera pas son eau très-près de la roue, soit cause de l'épaisseur de son fond, soit à cause du jeu laissé entre ce fon et la roue, de prendre pour AI la tangente à cette parabole au point o elle rencontre la circonférence extérieure de la roue.

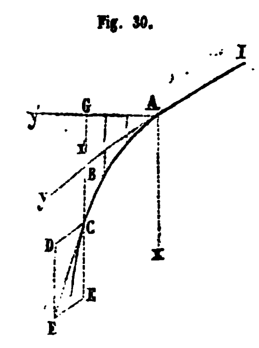


Fig. 30.

On tracera la courbe décrite par le filet fluide, à partir du point A situé en amont de l'extrémité du coursier, à une distance environ égale à l'épaisseur de la lame fluide, en considérant qu'à partir de ce point il est soumis à une vitesse initiale constante V, qui lui a fait parcourir suivant le prolongement de IA, après un temps t, une distance $AB = y = Vt$ (6), et à l'action de la pesanteur, qui lui a communiqué, après le même temps t, une vitesse verticale égale à gt, et lui a fait parcourir un espace vertical $BC = x = 1/2gt^2$ (18). En donnant à t différentes valeurs, et déterminant les valeurs correspondantes de y et de x, on a la position du filet moyen après un temps quelconque, ce qui permet de tracer par points la courbe qu'il décrit.

Le filet moyen possède, après le temps t, c'est-à-dire quand il est arrivé au point C, une vitesse $CD = V$ parallèle à AB, et une vitesse verticale $CE = gt$; formant alors le parallélogramme DCEF, la diagonale CF, qui sera tangente à la courbe, représentera en grandeur et en direction la vitesse réelle du filet moyen au point C; d'où l'on voit qu'avec une épure, il est facile de déterminer non-seulement la direction du filet fluide au moment où il choque un point quelconque de l'aube ou de l'eau qui se trouve dans l'auget, mais aussi l'intensité de la vitesse qu'il possède en ce point.

Des valeurs précédentes de y et de x on conclut

$$y^2 = \frac{2V^2}{g} x,$$

ou, en faisant $V^2 = 2gh$,

$$y^2 = 4hx.$$

D'où l'on peut conclure, comme pour un corps lancé dans l'espace sous une direction quelconque, que le filet fluide décrit, en négligeant aussi la résistance de l'air, une parabole dont le paramètre est égal à 4 fois la hauteur h due à la vitesse initiale (*Int.*, 1111).

Si au lieu de prendre pour axe des y la direction initiale AB, on prend l'horizontale AG, on a, en désignant l'angle GAB par α,

$$x' = y' \operatorname{tang} \alpha + \frac{g}{2V^2 \cos^2 \alpha} y'^2,$$

et dans le cas où α serait nul, on aurait

$$x' = \frac{g}{2V^2} y'^2, \quad \text{d'où} \quad y'^2 = \frac{2V^2}{g} x' = 4hx'.$$

Même équation que dans le cas précédent.

Vannage. Il se fait de deux manières, suivant que la roue prend l'eau au-dessus de son sommet, ou à une certaine hauteur au-dessous. Dans le premier cas, si le niveau de l'eau est tout à fait constant, on établit le point supérieur de la roue à $0^m,20$ ou $0^m,25$ au-dessous de ce niveau, et à l'aide d'un coursier, dont le fond est en fonte, afin de lui donner le moins d'épaisseur possible, on amène l'eau sur la roue. Le fond du coursier se prolonge jusque vers le sommet de la roue, et il convient même de l'arrêter à une distance de $0^m,10$ environ en amont; l'eau par sa vitesse acquise n'arrive dans l'auget qu'au delà de ce sommet. Pour empêcher l'eau de rejaillir sur les côtés, on prolonge les parois verticales du coursier sur une étendue d'environ trois augets au delà de l'extrémité du fond du coursier. Le jeu entre le fond du coursier et la roue étant de $0^m,01$, l'eau arrive sur la roue en aval mais très-près du sommet, avec une faible vitesse, qui doit être supérieure à celle de la roue, et si l'on ne donne à la couronne que de $0^m,25$ à $0^m,28$ de hauteur suivant le rayon de la roue, ce qui diminue la profondeur de l'auget et par suite la vitesse d'arrivée de l'eau contre le fond de cet auget tout en augmentant la hauteur d'action de l'eau sur la roue, on se trouve dans les meilleures conditions sous le rapport de l'effet utile rendu par la roue. Lorsque le niveau de l'eau est variable, on établit le seuil de la vanne assez bas pour que, pendant les plus basses eaux, le débit soit encore suffisant pour la marche de régime de la roue. Le coursier ne doit pas avoir, si cela est possible, plus de 1 mètre ou $1^m,50$ depuis la vanne, avec une inclinaison de 1/12 au plus.

Lorsque le niveau sera inférieur, pendant un certain temps de l'année et d'une certaine quantité, au niveau le plus bas pour lequel la roue peut être établie, il conviendra, malgré la plus grande perte de chute due à l'introduction de l'eau dans les augets, et la plus grande hauteur de déversement de ces augets, hauteur qui croît avec le diamètre de la roue, de faire arriver l'eau à une certaine distance au-dessous du sommet de la roue, du côté d'amont. Dans ce cas, la vanne devra encore être établie pour pouvoir alimenter convenablement la roue pendant les plus basses eaux. Le point supérieur de la roue se place de manière que la vanne ne soit pas trop inclinée, sans cependant prendre un diamètre de roue trop grand; pour des roues d'un diamètre moyen, il convient de le placer à $1^m,15$ environ au-dessus du niveau supérieur des plus grandes eaux. Pour les constructions soignées, on emploie, dans ce cas, pour distribuer l'eau sur la roue, le vannage en fonte (*fig.* 20) (153), dont la direction du filet moyen de chaque veine fluide partielle se détermine comme il a été indiqué page 207, en prenant pour V la vitesse la plus générale dans chaque orifice. Ordinairement la vanne ne peut que plonger, et les orifices inférieurs ne s'ouvrent qu'après ceux du haut; mais, en di

posant la vanne de manière qu'on puisse l'élever et l'abaisser à volonté au-dessus et au-dessous des orifices, et en plaçant les orifices supérieurs pour les plus grandes eaux, et les orifices inférieurs pour les plus basses, on diminuera considérablement les irrégularités de la vitesse d'arrivée de l'eau sur la roue.

Dans les constructions moins soignées, tous les orifices du vannage précédent sont remplacés par un seul, dont les parois sont en bois, et qui doit encore produire un débit convenable pendant les plus basses eaux.

Position des roues à augets par rapport au niveau d'aval. Les roues recevant l'eau en dessus tournant en sens contraire du mouvement de l'eau dans le canal de fuite, elles ne doivent jamais être établies au-dessous du niveau supérieur de l'eau dans ce canal. Au contraire, les roues recevant l'eau en dessous du sommet marchant dans le sens de l'eau dans le canal d'aval, elles peuvent sans inconvénient être noyées de la 1/2 hauteur de la couronne, et elles le seront même avec avantage si elles sont emboîtées d'un coursier circulaire qui empêche le déversement de l'eau. Cette propriété des roues à augets recevant l'eau de côté, de permettre au niveau d'aval de varier dans des limites assez étendues, sans que l'effet utile soit sensiblement altéré, les fait très-souvent préférer aux roues recevant l'eau en dessus.

Quand les roues sont noyées, il convient de garnir le fond de chaque auget d'une soupape qui s'ouvre quand ce fond arrive dans la position verticale inférieure, de manière à permettre à l'air d'entrer dans l'auget quand l'eau en sort. Quelquefois le fond de chaque auget est garni, suivant qu'il est plus ou moins long, d'un, deux ou trois trous de $0^m,04$ de diamètre; ces trous produisent le même effet que la soupape dont il vient d'être question; mais ils donnent lieu à une perte d'eau.

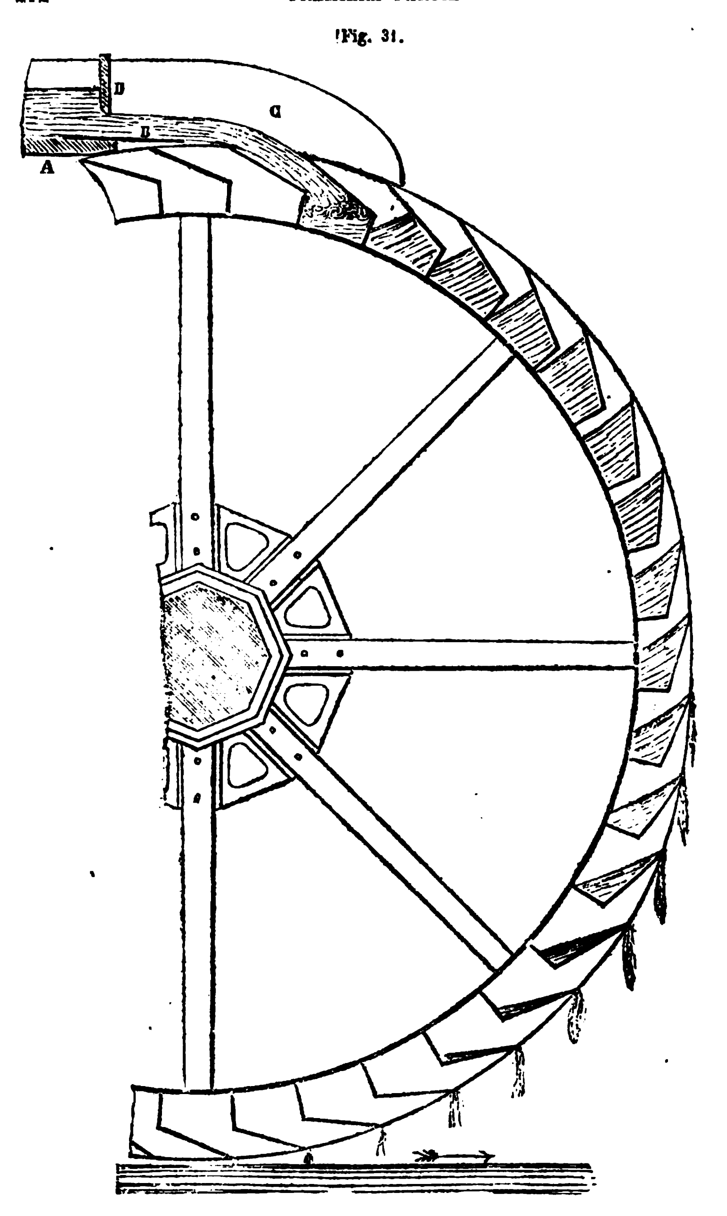
La *fig.* 31 représente, à l'échelle de 1/40, la coupe perpendiculaire à l'axe d'une roue à augets recevant l'eau en dessus.

A fond du coursier en bois; il se prolonge jusqu'à une distance de $0^m,10$ en amont de l'axe de la roue par une plaque de fonte B;

C prolongement des joues latérales du coursier pour empêcher l'eau de jaillir hors de la roue;

D vanne.

!Fig. 31.



202. *Roues se mouvant dans un courant à grande section, dites roue pendantes.* L'équilibre dynamique donne, pour une seconde,

$$\mathcal{T}_m = k\,\frac{1000SV(V-v)v}{g}.$$

$\mathcal{T}_m$ travail moteur que peut transmettre l'arbre de la roue;
k coefficient, qui est égal à 0,84 environ d'après les expériences de Bossut, et à 0,80 d'après les observations de M. Poncelet sur les roues des moulins sur bateaux, établis sur le Rhône, à Lyon;
S section de la partie plongée de la couronne, ou surface de la partie plongée de l'aube placée sur le rayon vertical de la roue, mesurée suivant ce rayon;
V vitesse à la surface du courant au point où se trouve la roue; on peut la considérer comme étant la vitesse moyenne de tous les filets qui rencontrent l'aube, à leur arrivée sur cette aube;
v vitesse du centre de gravité de la partie plongée de l'aube;
1000SV poids d'eau qui afflue par seconde sur la partie plongée de la couronne;
$V-v$ vitesse relative d'arrivée de l'eau sur les aubes (*Int.*, 1354).

Pour des valeurs déterminées de S et de V, $\mathcal{T}_m$ sera maximum quand on aura $v=\frac{1}{2}V$ (mêmes considérations que n° 197, p. 187). Dans la pratique, on a été conduit à faire $v=0{,}4V$, ce qui, théoriquement, diminue $\mathcal{T}_m$ de $\frac{1}{25}$ environ.

Faisant, dans la formule précédente, $k=0{,}80$, $v=0{,}4V$ et $g=9{,}8088$, on a sensiblement

$$\mathcal{T}_m = 20SV^3.$$

La longueur des roues varie de 2m,50 à 5 mètres, et leur diamètre extérieur ne dépasse guère 4 ou 5 mètres. La hauteur des aubes doit être de 1/5 à 1/4 du rayon de la roue; elle ne doit pas être inférieure à 0m,33, et elle est ordinairement comprise entre 0m,50 et 0m,80. L'écartement des aubes, mesuré sur la circonférence extérieure de la roue, est égal à leur hauteur. Le nombre des aubes est ordinairement égal à 12, mais on pense qu'il y aurait avantage à le porter à 18 et même à 24. Les aubes doivent être complétement noyées; mais pas de plus de 0m,05 au-dessus de leur arête intérieure. Cependant, quand la profondeur du courant est considérable, on augmente quelquefois cette hauteur d'immersion; ainsi, pour les moulins du Rhône, elle va jusqu'à 0m,50. Des couronnes, ou simplement des rebords de 0m,05 à 0m,10 de saillie sur les extrémités des aubes, produisent un bon effet. Navier conseille d'incliner les aubes sur le rayon, du côté d'amont, sous un angle de 30° quand la roue plonge de 1/4 à 1/5 de son rayon, et de 15° quand elle plonge de 1/3 de son rayon, proportion maximum d'immersion.

203. *Turbines.* Ces roues, dont l'axe est vertical, sont plus aptes à fonctionner étant noyées que les précédentes, et même quand l'eau est en assez grande abondance pour remplir les canaux formés par les aubes, et que ces canaux sont convenablement proportionnés,

ces roues fonctionnent à peu près noyées comme hors de l'eau. Il n'en est plus de même dès que l'eau cesse de sortir à pleins tuyaux, car alors l'eau d'aval tendant à pénétrer dans les canaux, elle produit des réactions et par suite une perte de travail.

Les turbines se divisent en deux types bien distincts : le premier comprend les turbines versant l'eau en dessous, et le deuxième celles qui versent l'eau latéralement. Il y aurait encore à distinguer les turbines dont les canaux sont pleins pendant la marche, de celles où l'eau ne remplit qu'imparfaitement ces canaux.

Les turbines pouvant recevoir l'eau sur tout leur contour à la fois, elles sont d'un très-petit diamètre; un autre avantage, c'est qu'elles ont une vitesse de rotation très-grande, ce qui simplifie en général les transmissions de mouvement; de plus encore, cette vitesse de rotation peut varier dans des limites assez étendues sans que le rendement soit sensiblement altéré.

La turbine versant l'eau en dessous a été proposée en 1750 par Ségner, et ses dispositions générales par Euler en 1754, qui en a donné la théorie en 1767, et Navier en 1819. En 1824, cette roue a été perfectionnée et construite par M. Burdin, ingénieur en chef des mines, qui lui a donné le nom de *turbine*. Cette turbine, perfectionnée dans ces derniers temps par beaucoup d'ingénieurs et constructeurs, est celle que l'on établit le plus aujourd'hui. En 1832, M. Fourneyron a pris un brevet pour une turbine versant l'eau latéralement; depuis, il a construit un très-grand nombre de ces roues.

Que les turbines versent en dessous ou latéralement, on doit les établir pour le plus grand débit qu'elles devront effectuer et pour la plus faible chute sous laquelle elles devront fonctionner.

204. *Turbines versant l'eau en dessous.* Afin que le travail de la roue soit aussi grand que possible, il faut :

1° Que les ajutages adducteurs formés par les courbes directrices soient évasés du côté du réservoir supérieur, afin d'éviter le travail résistant qui se manifeste à l'entrée des ajutages cylindriques ou prismatiques;

2° Que l'eau entre sans choc dans la roue;

3° Que l'eau, à sa sortie de la roue, ne possède qu'une très-petite vitesse absolue V', qui ne peut être nulle, puisqu'elle doit satisfaire au débit;

4° Que l'eau coule dans la roue en filets sensiblement parallèles; ce qui a lieu quand le canal formé par deux aubes consécutives ne présente pas d'étranglements, résultat que l'on obtient en faisant assez grande la hauteur de la roue.

Soient *fig.* 32 :

r le rayon moyen de la turbine, c'est-à-dire du cylindre vertical passant par le milieu de la longueur des aubes; tout ce qui suit se rapporte aux points de la roue situés à la distance r de l'axe;

V la vitesse de l'eau à son arrivée sur la roue, représentée en grandeur et en direction par AV;

v la vitesse de la roue au point A milieu de la longueur des aubes, représentée en grandeur et en direction par Av;

W la vitesse relative d'arrivée de l'eau contre l'aube; elle est égale à la résultante AW de la vitesse V, et de la vitesse AB qui est égale à v prise en sens contraire (*Int.*, 1358), et sa direction est celle que l'on doit donner à l'élément supérieur de l'aube;

W' la vitesse relative de l'eau au point C, bas de l'aube, par rapport à cette aube; elle est représentée en grandeur et en direction par CW′, qui est dirigée suivant le dernier élément de l'aube;

V' la vitesse absolue que conserve l'eau à sa sortie de la roue; elle est égale à la résultante CV′ de la vitesse W′ et de la vitesse v;

α l'angle que fait la direction AV du filet moyen avec l'horizontale;

β l'angle que fait la direction du dernier élément de l'aube avec l'horizontale;

h la hauteur du niveau de l'eau dans le bief d'amont au-dessus de la face supérieure de la turbine;

h' la hauteur de la turbine;

$H = h + h'$ la chute totale, la turbine n'étant pas noyée;

a et a' les distances d'axe en axe de deux directrices et de deux aubes consécutives;

e et e' les épaisseurs respectives des directrices et des aubes;

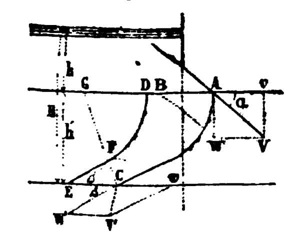
n et n' les nombres de directrices et d'aubes;

l et l' les dimensions, mesurées suivant le rayon de la roue, des canaux formés par les aubes, à la partie supérieure et à la partie inférieure de la roue; l est la dimension des canaux formés par les directrices;

k et k' les coefficients de contraction applicables à la sortie des canaux formés par les directrices et de ceux formés par les aubes;

N Le nombre de tours de la roue par minute.

Fig. 32.



On a (*Int.*, 1372)

$$W^2 = V^2 + v^2 - 2Vv\cos\alpha. \qquad (1)$$

Pour qu'il n'y ait pas choc à l'entrée de l'eau dans la roue, l'élément supérieur de l'aube doit être dirigé suivant la direction de la vitesse relative W, et pour le cas où cette vitesse serait verticale, on aurait

$$v = V\cos\alpha, \quad \text{et} \quad W^2 = V^2 - v^2 = V^2(1 - \cos^2\alpha).$$

Le long de la courbe AC, la veine fluide restant à égale distance de l'axe, la force centrifuge ne produit aucun travail, et par suite ne modifie pas la vitesse relative, qui devient alors au point C, en négligeant les frottements, et en supposant que la pression atmosphérique agit seule en A et C, c'est-à-dire que l'eau d'aval affleure le dessous de la turbine,

$$W'^2 = W^2 + 2gh'. \qquad (2)$$

On a

$$V'^2 = W'^2 + v^2 - 2W'v\cos\beta. \qquad (3)$$

La vitesse V′ ne peut être tout à fait nulle, puisqu'elle doit satisfaire au débit; mais elle devient très-faible en faisant β très-petit et en admettant la relation

$$W' = v. \qquad (4)$$

A l'aide des quatre équations ci-dessus, on peut déterminer les éléments nécessaires pour établir la turbine.

Ajoutant les équations (1) et (2), on obtient, en faisant $W' = v$,

$$v = \frac{V^2 + 2gh'}{2V \cos\alpha},$$

ou en remarquant que l'on peut poser $V^2 = 2gh$,

$$v = \frac{gH}{\cos\alpha\sqrt{2gh}}, \quad \text{d'où} \quad \frac{v^2}{2g} = \frac{H^2}{4h} \times \frac{1}{\cos^2\alpha}. \qquad (5)$$

H étant donnée, on peut choisir à volonté deux des 3 quantités α, h et v; supposant, par exemple, $h = 0{,}9H$, et, comme dans les turbines Fontaine-Baron, $\alpha = 15°$ ou $\cos\alpha = 0{,}966$, on en conclut $v = 0{,}55\sqrt{2gH}$.

Connaissant v ou son égale W', de l'équation (3) on tire, en faisant, comme dans les turbines Fontaine-Baron, $\beta = 20°$ ou $\cos\beta = 0{,}94$.

$$V'^2 = 2v^2(1 - \cos\beta) = 0{,}12v^2, \qquad (6)$$

et dans le cas de l'hypothèse précédente,

$$V'^2 = 0{,}12 \times (0{,}55)^2 \times 2gH \quad \text{ou} \quad \frac{V'^2}{2g} = 0{,}036H.$$

La perte de chute due à la vitesse V' que conserve l'eau étant 0,036H, la chute utilisée est, en supposant que le niveau d'aval coïncide avec le plan inférieur de la roue, 0,964H, et le travail transmis à la roue est 0,964QH, Q étant le poids d'eau dépensé.

Le travail transmis à la roue est d'autant plus grand que la vitesse V' est plus petite. En mettant dans l'équation (6) la valeur (5) de v, on conclut

$$\frac{V'^2}{2g} \times \frac{1}{H} = \frac{H}{2h} \times \frac{1 - \cos\beta}{\cos^2\alpha}. \qquad (7)$$

Le premier membre de cette égalité exprime le rapport de la chute perdue à la chute totale, et le second montre que ce rapport est d'autant plus petit que la hauteur h' de la turbine et l'angle α sont plus petits (h augmente quand h' diminue). Mais comme à mesure que h' et α diminuent, le canal formé par deux aubes consécutives est courbé plus brusquement, il y a une limite à laquelle il faut s'arrêter, sans quoi le liquide ne se mouverait plus en filets parallèles, et il se formerait sur la paroi convexe du canal des remous qui diminueraient le travail utile. Ainsi les tangentes à l'aube en A et C doivent faire entre elles un angle très-ouvert, et la longueur AC de l'aube ne doit pas être trop petite. On satisfait convenablement à la première condition en faisant en sorte que dans le triangle AvV l'angle AvV soit au plus de 90°, c'est-à-dire qu'on ait $V \overline{\overline{<}} \frac{v}{\cos\alpha}$, ou en remplaçant v par sa valeur (5) et en faisant

$V = \sqrt{2gh}$, $\cos^2 \alpha \overline{\overline{<}} \frac{H}{2h}$. Substituant cette valeur dans la formule (7), on a pour le rapport du rendement au travail total

$$\left(H - \frac{V'^2}{2g}\right)\frac{1}{H} \overline{\overline{<}} \cos\beta.$$

203. *Turbines de M. Fontaine-Baron.* Ces turbines se trouvent dans les conditions des considérations théoriques précédentes, dues à M. Belanger. Quand le niveau d'aval est constant et que la chute est assez grande, elles sont préférables à celles versant latéralement. Lorsque la couronne est complétement remplie, elles peuvent être noyées; mais dans le cas contraire, elles doivent fonctionner hors de l'eau.

Dans la pratique :

Il est prudent de ne compter que sur un rendement $T_m = 0.65$ PH quand les vannes sont entièrement levées et la turbine dénoyée, quoique l'on ait souvent obtenu $T_m = 0{,}70$PH et même plus;

On a environ $V = 0{,}80\sqrt{2gH}$ à $0.85\sqrt{2gH}$ et $v = 0{,}50\sqrt{2gH}$ à $0.60\sqrt{2gH}$; v peut varier entre des limites assez étendues sans que l'effet utile change sensiblement;

Ordinairement $\alpha = 11°$ à $15°$, et s'élève quelquefois jusqu'à $25°$; $\beta = 20°$ et monte par fois jusqu'à $25°$ et même $30°$;

$k = 0.85$ et $k' = 0.90$;

$n' = 2n$ à $2{,}4n$, et, par suite, $a = 2a'$ à $2{,}4a'$; $a' = 0^m{,}06$ à $0^m.08$ et jusqu'à $0^m.15$;

Pour des grandes dépenses d'eau, 2^{mc} et plus, sous des chutes moyennes ou petites, la plus courte distance $a\sin\alpha - e$ de deux courbes directrices voisines peut être de $0^m{,}06$ à $0^m.08$; mais il convient en général qu'elle soit plus petite;

La hauteur h' de la roue est environ égale à $2a'$;

La largeur l est assez ordinairement égale à $1/5$ ou $1/6$ du rayon moyen r de la roue; l va en s'agrandissant depuis le dessus de la roue jusqu'à la partie inférieure, où elle devient $l' = 1{,}1l$ environ; cet évasement de la couronne contenant les aubes est symétrique par rapport à la circonférence moyenne de la roue;

La distance des verticales passant, l'une par le haut, et l'autre par le bas d'une aube, est égale à $\frac{12}{7}a'$ environ;

Les directrices sont coulées en fonte avec les deux enveloppes annulaires assemblées sur un fond fixe; les aubes sont également coulées avec les couronnes qui les limitent.

Application. Soit à établir une turbine de M. Fontaine pour un débit de $1^{mc}{,}50$ d'eau par seconde, sous une chute de $3^m{,}00$; ce qui correspond, en admettant un rendement de 0,65, à une force de 39 chevaux.

Posant $\alpha = 15°$ ou $\sin\alpha = 0{,}26$, et $e = 0^m{,}01$, on a d'abord

$$a\sin\alpha = 0^m{,}042 + 0^m{,}01 \text{ ou } a = \frac{0{,}052}{0{,}26} = 0^m{,}20, \text{ et } a' = 0^m{,}10,\ h' = 0^m{,}20.$$

Faisant $k = 0{,}85$, $V = 0{,}85\sqrt{2gH} = 0{,}85 \times 7{,}672 = 6^m{,}52$ et $l = 0{,}2r$,

on a : $2\pi r = na$ ou $r = \frac{na}{2\pi}$, et $l = 0,1\,\frac{na}{\pi}$;

$$Q = kV \times 0,042\,ln = kV \times 0,0042\,\frac{a}{\pi}\,n^2;$$

$$n = \sqrt{\frac{\pi Q}{kV \times 0,0042 \times a}} = \sqrt{\frac{3,1416 \times 1,50}{0.85 \times 6,52 \times 0.0042 \times 0.20}} = 32,$$

et $n' = 64$;

$$r = \frac{32 \times 0,20}{2 \times 3.1416} = 1^m,01,\ l = 0,2 \times 1,01 = 0,202 \text{ et } l' = 1,1 \times 0,202 = 0^m,222$$

Admettant que $v = 0,55\sqrt{2gH} = 0,55 \times 7,672 = 4^m,22$, on a

$$N = \frac{v \times 60}{2\pi r} = \frac{4,22 \times 60}{6,35} = 40.$$

Les aubes doivent aussi pouvoir débiter le volume

$$Q = k'W'l'(2\pi r \sin\beta - n'e');$$

d'où, en faisant $W' = v = 4^m,22$ et $e' = e = 0^m,01$,

$$\sin\beta = \frac{Q - k'W'l'n'e'}{k'W'l' \times 2\pi r} = \frac{1,50 - 0.90 \times 4.22 \times 0.222 \times 0,64}{0,90 \times 4,22 \times 0,222 \times 6,35} = 0,1794.$$

Ce sinus correspondant à $\beta = 10°20'$, on voit qu'en faisant $\beta = 20°$, l'eau sera loin de remplir complétement les canaux formés par les aubes; elle agira par libre déviation, et alors il faudra éviter de noyer la turbine.

La figure 33 représente, à l'échelle de 1/60, une turbine de M. Fontaine, de la force de 18 chevaux, construite à l'établissement de Vadenay, près Châlons-sur-Marne. La chute moyenne est de $1^m,40$ et la dépense de 1400 litres par seconde. Cette roue fait marcher quatre à cinq paires de meules.

A bief supérieur;

B canal de fuite;

C couronne en fonte portant trente-deux cloisons ou directrices qui forment autant de canaux amenant l'eau sur les aubes de la roue. La couronne et les directrices sont venues d'une seule pièce de fonte;

D couronne en fonte de $0^m,235$ de hauteur, formant la roue proprement dite; elle porte soixante-quatre aubes venues de fonte avec les deux cylindres qui la composent;

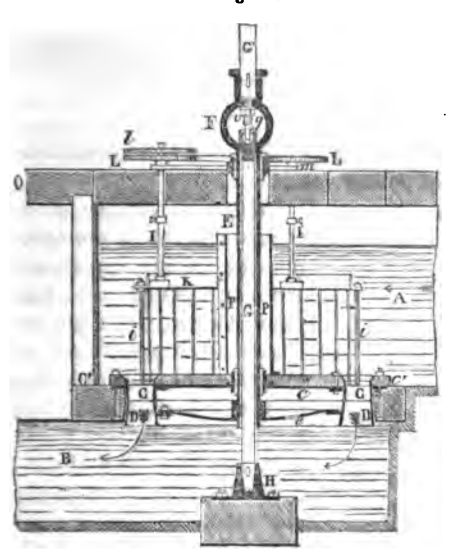
e disque servant de bras à la roue; il est creusé en forme de vasque, et, afin de pouvoir le nettoyer au besoin et serrer les écrous et les vis de pression qui fixent son moyeu sur le cylindre E, on l'a percé de trous vers le milieu de son rayon;

E cylindre en fonte servant d'arbre moteur; des vis de serrage fixent le moyeu du disque *e* à ce cylindre, sur lequel le moyeu entre à frottement;

F renflement du cylindre E;

G arbre fixe en fer de $0^m,07$ de diamètre;

Fig. 33.



sabot en fonte dans lequel est claveté l'arbre G, et qui est solidement fixé sur une forte pierre de taille;

arbre proprement dit de la roue; il est solidement claveté dans le haut du cylindre E;

pivot en fer forgé acéré par le bas, par lequel la roue, son arbre G' et le cylindre E reposent sur le support G, qui porte à son sommet une crapaudine en bronze à grain d'acier. L'idée de faire ainsi reposer tout le poids de la partie mobile sur un pivot supérieur, ce qui rend le graissage facile, est due à M. Arson;

écrou fixant le pivot *g* au système mobile, et réglant la hauteur de celui-ci;

tiges des petites vannes en fonte et bois qui ferment chacune un des canaux qui amènent l'eau sur la roue;

couronne en fonte sur laquelle sont fixées les trente-deux tiges *i*;

trois tiges fixées à la couronne K; elles sont filetées à leur partie supérieure, et elles portent chacune une douille, qui, en venant heurter contre le plancher O, limite la course de la tige et par suite celle des vannes;

roues en fonte autour desquelles passe une chaîne sans fin qui les fait tourner simultanément; les moyeux de ces roues sont tarandés et reçoivent le haut des tiges I; de sorte que ces tiges montent ou descendent suivant que l'on tourne dans un sens ou dans l'autre;

roue d'engrenage fixée sur une des roues L; elle est manœuvrée par un pignon dont l'arbre porte une roue conique qui s'engrène avec un pignon monté sur l'arbre d'une manivelle;

croisillons en fonte réglant l'écartement des tiges I; ils sont réunis par un moyeu qui porte un coussinet en bronze dans lequel tourne le cylindre E;

disque servant de bras à la couronne C; son moyeu porte un coussinet en bronze qui guide le cylindre E à sa partie inférieure;

plateau en bois de chêne formant l'ouverture des canaux directeurs;

C′ cadre en bois sur lequel sont boulonnés la couronne fixe C et le plateau c′; il est scellé dans les murs de fondation, et placé à la hauteur du niveau inférieur ordinaire de l'eau;

P cylindre en fonte formé de deux parties boulonnées, fixé sur le plateau c′, et empêchant le contact de l'eau avec le cylindre tournant E;

O plancher de l'usine.

La figure 34 représente à l'échelle de 1/15 le tracé des aubes, des directrices et des petites vannes.

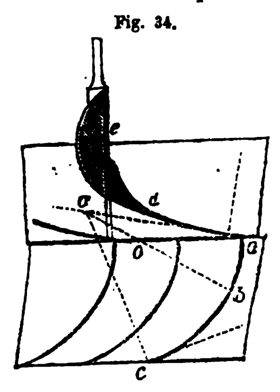


Fig. 34.

L'aube est formée de deux arcs de cercle : l'un, ab, a son centre situé sur le plan qui limite supérieurement la turbine, de sorte que cet arc est normal à ce plan; l'autre, bc, a son centre situé au-dessus de ce plan, à une distance telle, que bc étant tangent à ab au point b, il fasse avec le plan inférieur de la roue un angle qui ne dépasse pas 19 à 20°.

Au lieu de faire toujours l'élément supérieur de l'aube vertical, il convient (fig. 32) de le diriger suivant AW, diagonale du parallélogramme construit sur AV et $AB = v$. Pour $V = 0{,}80\sqrt{2gH}$ et $v = 0{,}55\sqrt{2gH}$, on prend AW et AB proportionnels à 0,80 et 0,55, et terminant le parallélogramme, on a la direction de AV. Les aubes sont ainsi plus courbées par le haut; c'est ce qui a lieu aujourd'hui dans les turbines de M. Fontaine.

La directrice ad se termine inférieurement par un arc de cercle formant avec le plan supérieur de la roue un angle qui ne dépasse pas ordinairement 11 ou 12°. Supérieurement, on donne à la directrice la forme qui permet le mieux l'introduction de l'eau.

Chaque vanne est formée par une plaque de fonte e, qui glisse contre le haut d'une directrice et dans deux rainures venues dans les couronnes, et qui vient se reposer sur la partie inférieure de la directrice consécutive quand la vanne est abaissée. Derrière la plaque e, se trouve fixée une garniture en bois, que l'on taille de manière à favoriser l'introduction de l'eau.

Les turbines de M. Fontaine rendent un effet utile égal aux 0,68 ou 0,70 du travail absolu du moteur quand les vannes laissent entièrement ouverts les canaux directeurs. Lorsqu'on abaisse les vannes de manière à réduire la dépense dans le rapport de 4 à 3 environ, l'effet utile est encore les 0,575 du travail absolu du moteur à la vitesse du maximum d'effet.

La vitesse à la circonférence moyenne de la roue, correspondant au maximum d'effet, est les 0,55 de la vitesse due à la hauteur de chut

(133), et elle peut varier de son 1/4, en plus ou en moins, sans que l'effet soit sensiblement diminué.

Une turbine de M. Fontaine-Baron, établie à la filature d'Haudrecy, avec les aubes, dites *à déviation*, de MM. Girard et Callon (207), a donné au frein un rendement moyen de 77 p. 100; les constructeurs, MM. Fromont, Fontaine et Brault, de Chartres, avaient garanti 70 p. 100. La chute a varié de 1^m,45 à 1^m,783, et la dépense d'eau de 502 à 1089 litres par seconde, sans que le rendement ait varié sensiblement. Dans une expérience particulière, la turbine s'étant trouvée noyée de 0^m,17, le rendement n'a plus été que de 62 pour 100; cependant, dans les expériences qui ont fourni 77 pour 100, la turbine était noyée de 0^m,01 à 0^m,13.

Turbine double. M. Fontaine-Baron construit encore une turbine double pour les cas où le volume d'eau varie dans des limites considérables. Elle est formée de deux séries bien distinctes d'aubes séparées par une couronne intermédiaire. Toutes les aubes et les trois couronnes sont fondues d'une seule pièce comme pour la turbine simple.

Il y a également deux séries de directrices fondues, comme les aubes, d'une seule pièce avec trois couronnes. Chacune des deux parties de la roue a un vannage semblable à celui d'une roue simple, et indépendant de celui de l'autre partie; de sorte que l'on peut à volonté ne faire arriver l'eau que sur l'un ou sur l'autre compartiment, ou sur les deux à la fois, suivant le volume d'eau à débiter.

Au lieu de baisser les vannettes pour réduire le débit, ce qui diminue notablement le rendement d'effet utile, M. Fontaine a imaginé de fermer complétement un nombre plus ou moins grand de canaux distributeurs. A cet effet, il emploie deux troncs de cône reliés entre eux par un essieu traversé librement par l'arbre de la turbine; ces troncs de cône roulent sur la surface annulaire comprenant la directrice, et y développent chacun une bande de cuir dont une extrémité est fixée à cette surface et l'autre au tronc de cône. On conçoit alors que selon que l'on fait tourner les troncs de cône dans un sens ou dans l'autre, les bandes de cuir découvrent ou couvrent un nombre voulu de canaux distributeurs.

206. *Turbine-Jonval*, perfectionnée par MM. A. Kœchlin et compagnie. Cette turbine est encore du système de celle de M. Burdin (203). Elle est placée à la partie supérieure d'un cylindre en fonte rétréci et alésé au point où elle se trouve, de manière à l'envelopper exactement en ne laissant qu'un millimètre de jeu au plus. La partie contenant la couronne qui porte les directrices s'évase légèrement. A la partie inférieure et au-dessous du niveau d'aval, dont la variation est indifférente, le cylindre vertical s'adapte sur un tuyau rectangulaire horizontal muni d'une vanne qui permet de suspendre à volonté l'ar-

rivée de l'eau. Cette vanne est la seule disposée pour faire varier
dépense de petites quantités.

La roue est ordinairement placée à une hauteur intermédi
entre les niveaux d'amont et d'aval, de sorte que la pression de l'e
sur les aubes est due en partie à l'aspiration. Cette disposition perm
de diminuer la longueur de l'arbre de la roue.

Lorsque la dépense d'eau est variable, mais constante pendant
certains laps de temps, on fixe à la couronne de la roue des ca
obturateurs qui rétrécissent les canaux formés par les aubes. P
une longueur d'aubes de 0m,115 4, mesurée suivant le rayon, les
rateurs d'une turbine fermaient 0m,067 4. On peut donc faire va
dans des limites très-éloignées le débit de cette roue.

On a reconnu, par des expériences faites au Bouchet, par M. Mori
que l'effet utile que rend cette roue est les 0,72 du travail absolu
moteur quand tous les orifices sont complétement ouverts, qu'il
environ les 0,70 ou 0,71 quand la moitié seulement des aubes s
garnies de leurs obturateurs, et encore les 0,63 quand toutes les a
sont garnies de leurs obturateurs.

La vitesse à l'extérieur de la roue, correspondant au maxim
d'effet, paraît devoir être les 0,70 de la vitesse $\sqrt{2gH}$ due à la ch
totale H, et pouvoir varier de 1/4 en plus ou en moins sans que
rendement soit sensiblement diminué.

Les constructeurs admettent les proportions suivantes :

18	pour le nombre des aubes ;
1/16	du diamètre extérieur D pour la plus courte distance de deux aubes co cutives ;
1/8 D	pour la longueur des aubes ou des canaux qu'elles forment, mesurée suiv le rayon.

Connaissant la dépense Q ou le diamètre D, on calcule l'autre de ces quantités
la relation suivante, dans laquelle H est la chute totale :

$$D = \sqrt{\frac{14,2Q}{\sqrt{2gH}}}.$$

Pour de grandes dépenses d'eau, dans le but de diminuer D,
donne en général aux aubes une longueur égale à 6 ou 8 fois la p
courte distance de deux directrices consécutives, à leur partie in
rieure.

Les courbes directrices sont à peu près verticales à leur partie s
périeure, et elles font un angle d'environ 34° avec l'horizon à l
partie inférieure. Les aubes sont à peu près inclinées à 70° à l'hori
à leur partie supérieure, et à 30° à leur partie inférieure.

Proportions de la turbine expérimentée au Bouchet :

Diamètre extérieur.		$0^m,840$
Largeur des augets	sans obturateur.	$0^m,120$
	avec obturateur.	$0^m,048$
Nombre des augets.		48
Nombre des directrices.		6
Plus courte distance entre deux courbes directrices à leur partie inférieure, prise sur la machine.		$0^m,112$
Plus courte distance entre deux aubes consécutives, à leur partie inférieure.		$0^m,040$
Sections ou orifices de la roue, ensemble.		$0^{mc},0706$
Aire de l'orifice de la vanne de sortie.		$0^{mc},2977$
La chute disponible a varié de.		$1^m,76$ à $1^m,40$

207. Dans ces derniers temps, plusieurs ingénieurs se sont occupés de l'établissement des turbines, et quelques-uns sont arrivés à des dispositions qui ont donné de bons résultats.

La turbine de M. Krafft est de ce nombre ; elle verse l'eau en dessous comme celle de M. Fontaine-Baron, dont elle diffère naturellement plus dans les détails que dans l'ensemble. M. Krafft a aussi établi des turbines doubles pour obvier à de grandes variations de dépense d'eau. Des clapets, qui peuvent se rabattre sur toute la surface annulaire formée par les arêtes supérieures des directrices, permettent de supprimer à volonté le passage de l'eau par un plus ou moins grand nombre des canaux formés par les directrices, et par suite de modifier la puissance de la roue.

Des expériences faites sur une turbine Krafft établie à Chevroz, dans le Doubs, ont donné un rendement de plus de 75 pour 100 à des vitesses très-variables.

M. Charles Lombard a aussi donné une disposition des turbines versant l'eau en dessous. Des petites vannes partielles permettent de supprimer le passage de l'eau par le nombre voulu des canaux formés par les directrices.

MM. L. D. Girard et Ch. Callon ont apporté aux turbines versant l'eau en dessous un perfectionnement qui ne manque ni d'originalité ni d'importance, et qui a fait donner au système la qualification d'*hydropneumatique*.

Ces ingénieurs, en foulant de l'air sous la turbine, y maintiennent l'eau au niveau de la surface inférieure mobile, quoique dans le canal de fuite l'eau s'élève à un niveau suffisant pour noyer la roue.

De cette disposition, il résulte plusieurs avantages, dont le principal est que l'on peut n'ouvrir qu'un très-petit nombre des vannes partielles, et par suite réduire considérablement le débit de la roue, sans que le rapport de l'effet utile au travail total soit considérablement diminué. On conçoit que si la roue tournait dans l'eau, ce rapport diminuerait considérablement, puisque les résistances dues au

mouvement de la roue restent à peu près les mêmes, quel que soit le débit de la roue.

Les aubes, les directrices et les vannettes sont à très-peu près disposées comme dans la turbine Fontaine ; mais la partie supérieure de la tige de chaque vannette se recourbe à angle droit et porte un galet qui pénètre dans une rainure venue dans le pourtour d'un plateau circulaire mobile autour de l'axe de la roue. Cette rainure est à deux étages, qui se raccordent en deux points par une partie inclinée ; un étage correspond aux vannettes fermées, l'autre aux vannettes ouvertes, et l'on conçoit qu'en tournant le plateau dans un sens ou dans l'autre, on peut faire passer le bout courbé des tiges d'un étage à l'autre, et par conséquent ouvrir ou fermer successivement le nombre que l'on veut de vannettes.

Des expériences faites par MM. Girard et Callon sur une turbine hydropneumatique établie à la papeterie d'Égreville ont montré que selon que le nombre des vannettes ouvertes a varié de 10 à 30 sur le nombre total 40, l'effet de l'hydropneumatisation a varié de 25 à ... pour 100.

D'autres expériences faites sur une turbine hydropneumatique établie dans une papeterie de Troyes ont montré que le nombre des vannettes ouvertes ayant varié de 10 à 32 sur le nombre total 38, et la puissance de 9,35 à 22,08 chevaux, l'effet utile a été de 0,77 sans variation bien sensible.

Ces résultats permettent donc de ne pas trop diminuer le diamètre des turbines, et par suite d'obtenir une vitesse de rotation non exagérée. C'est même pour atteindre ce but, que MM. Girard et Callon ont étudié une turbine dans laquelle il n'y a qu'un certain nombre de directrices divisées en deux groupes symétriques par rapport à l'axe de la roue. Un papillon ou double secteur mobile autour de cet axe permet de découvrir le nombre que l'on désire de canaux distributeurs. Le tuyau de chute amène l'eau dans une *bâche* ou cylindre en fonte dans laquelle se trouve la turbine. Le papillon est même préférée aux vannettes à tiges pour les turbines ordinaires ; sa largeur est alors telle qu'il ne ferme que le nombre de canaux qu'exige la variation du débit.

La turbine de MM. Girard et Callon contenant autant de courbes directrices que d'aubes, la section normale des tuyaux *adducteurs* est moindre que celle des orifices récepteurs ; d'où il résulte une libre déviation des veines liquides, ce qui est du meilleur effet dans une turbine hydropneumatique. De plus, les corps charriés s'arrêtent entre les directrices, d'où on les retire plus facilement que s'ils étaient descendus entre les aubes.

TABLEAU des proportions principales adoptées par MM. Girard et Callon dans l'établissement des turbines à libre déviation et à vannages à soulèvements successifs.

1er *type*, petites chutes et grands volumes; 2e *type*, intermédiaires; 3e *type*, fortes chutes et petits volumes, $\alpha=46°$ à $47°$; $\beta=20°$ à $21°$ (204).

	1er TYPE.	2e TYPE.	3e TYPE.
Nombre minimum $n=n'$ des courbes fixes et mobiles...........	40	40 ou mieux 48	40 ou mieux 52
Écartement $a=a'$ des courbes sur la circonférence moyenne.....	0m.20	0m.14	0m.10
Plus courte distance $a \sin \alpha - e$ à l'introduction...........	0m.044 à 0m.04	0m.028	0m.020
Plus courte distance $a' \sin \beta - e'$ à l'évacuation...........	0m.065	»	»
Rapport maximum de l au diamètre moyen.............	1/5	1/6	1/7
Rapport de l' à l.	1m.25 à 1.33	»	»
Hauteur de la couronne fixe.....	0m.16	0m.14	0m.10
Hauteur h' de la couronne mobile ou roue..............	0m.30	0m.215	0m.170

M. Girard a fait établir une turbine hydropneumatique fonctionnant sous une charge de 0m,45 à 0m,60 et dépensant de 3000 à 5000 litres d'eau par seconde; son diamètre est de 3m,50, et elle fait moyennement 20 tours par minute.

Une autre turbine, établie par M. Girard, au Conservatoire des arts et métiers, a donné des résultats, certifiés par MM. Morin et Tresca, qui se résument ainsi :

1° Pour des chutes qui ont varié de 4 à 12 mètres, et pour des dépenses d'eau de 4 à 15 litres par seconde, le rendement n'a jamais été inférieur à 0,65 ;

2° Ce rendement diminue avec l'ouverture de la vanne sans être jamais inférieur à 0,71 quand la vanne est entièrement ouverte;

3° Pour les chutes de 9 à 10 mètres, le rendement s'est élevé à 0,76. Cette turbine a fait 157 tours par minute sous la charge de 3m,88, et 360 sous celle de 12m,16. Elle avait été calculée pour une chute de 50 mètres et un débit de 30 litres par seconde.

208. *Turbines versant l'eau latéralement.* Théoriquement, ces roues ne diffèrent des précédentes qu'en ce que: 1° l'eau y coule horizontalement pendant son action au lieu de descendre de la hauteur h'; 2° les roues étant immergées dans le canal d'aval, l'eau remplit complétement les canaux, lesquels n'ayant pas une section uniforme sur toute leur longueur, on ne peut plus supposer que la pression est constante entre les molécules fluides et que par conséquent celles-ci se meuvent comme si elles étaient indépendantes les unes des autres.

Ces turbines fonctionnent quand elles ne sont pas noyées; mais pour qu'elles utilisent toute la chute disponible, elles doivent, comme cela a lieu ordinairement, l'être complétement. Elles ont l'avantage de fonctionner quand elles sont noyées à une profondeur quelconque, et elles conviennent à toutes les chutes.

L'eau s'y meut horizontalement, d'où il résulte que la pesanteur ne modifie en rien ni le travail ni la vitesse de l'eau pendant que celle-ci est dans la roue ; ce qui n'a pas lieu pour les turbines versant l'eau en dessous. L'effet de la force centrifuge est nul quand l'eau se meut verticalement; mais il n'en est pas ainsi dans ce cas, où l'eau se meut horizontalement.

Les considérations théoriques suivantes, qui sont de M. Belanger, supposent que la vanne est levée de toute la distance des deux plateaux comprenant les aubes, c'est-à-dire que l'eau se meut sans changements brusques de vitesse, et que l'on néglige les frottements, les actions mutuelles du liquide, et l'influence du jeu entre le vannage et la roue.

Soient, fig. 35 :

V la vitesse avec laquelle l'eau arrive au point A, représentée en grandeur et en direction par la droite AV, qui est dirigée suivant la tangente à la directrice EA;

v la vitesse de la roue au point A origine de l'aube, représentée en grandeur et en direction par Av, qui est tangente à la circonférence intérieure de la roue au point A;

W la vitesse relative d'arrivée de l'eau sur le point A de l'aube; elle est représentée en grandeur et en direction par la résultante AW des deux vitesses V et v, cette dernière étant prise de A en B, c'est-à-dire en sens contraire du mouvement de la roue (*Int.*, 1356). La direction AW est celle que l'on doit donner au premier élément de l'aube;

h la hauteur du bief d'amont au-dessus du point A, supposé à égale distance des plateaux;

p_1 la pression par mètre carré du liquide en ce même point;

p la pression atmosphérique par mètre carré;

Π le poids du mètre cube d'eau;

W' la vitesse relative de l'eau au point C extrémité de l'aube, par rapport à cette aube; elle est représentée en grandeur et en direction par la droite CW' dirigée suivant le dernier élément de l'aube;

v' la vitesse de la roue au point C extrémité de l'aube; elle est représentée en grandeur et en direction par la droite Cv' tangente à la circonférence extérieure de la roue:

V' la vitesse absolue de l'eau à sa sortie de la roue; elle est représentée en grandeur et en direction par la résultante CV' des deux vitesses W' et v';

ω la vitesse angulaire; $\omega = \frac{v}{r} = \frac{v'}{R}$;

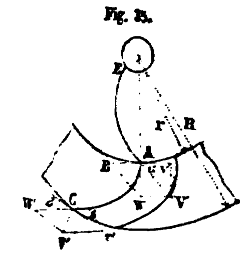
α l'angle que font entre elles les directions des deux vitesses V et v;

β l'angle que fait la direction de la vitesse W' avec la tangente à la circonférence extérieure de la roue au point C;

h' la hauteur du point C au-dessous du niveau du bief d'aval; la pression du liquide en C est $p + \Pi h'$;

$H = h - h'$ la chute totale ou la différence de niveau de l'eau en amont et en aval de la roue;
P le poids d'eau dépensé par seconde en kilogrammes;
Q le volume d'eau dépensé par seconde en mètres cubes;
r le rayon intérieur de la roue;
R le rayon extérieur de la roue;
l la hauteur de la roue, ou mieux la dimension verticale des orifices laissés entre les aubes;
a la distance d'axe en axe de deux directrices consécutives, mesurée sur la circonférence intérieure de la roue;
a' la distance d'axe en axe de deux aubes consécutives, mesurée sur la circonférence extérieure de la roue;
d et d' les plus courtes distances entre deux courbes consécutives et entre deux aubes consécutives;
e et e' les épaisseurs de la tôle formant les courbes directrices et les aubes;
n et n' les nombres de courbes directrices et d'aubes;
k et k' les coefficients de contraction entre les directrices et les aubes;
N le nombre de tours de la roue par minute.

Fig. 25.



On a, d'après Bernoulli

$$\frac{V^2}{2g} = h + \frac{p - p_1}{\Pi}. \quad (1)$$

$$W^2 = V^2 + v^2 - 2Vv\cos\alpha \quad (2)$$

Pour le cas ou W est dirigée suivant le rayon de la roue, on a $v = V\cos\alpha$, et, par suite, $W^2 = V^2 - v^2$.

Une masse m de liquide passant du point A au point C:

1° L'accroissement de force vive est $\frac{1}{2}m(W'^2 - W^2)$;

2° La pression d'amont étant p_1, et celle d'aval $p + h'$, le travail dû à l'ensemble de ces pressions est $mg\left(\frac{p_1 - p}{\Pi} - h'\right)$;

3° Le travail de la force centrifuge est $\frac{1}{2}m\omega^2(R^2 - r^2) = \frac{1}{2}m(v'^2 - v^2)$;

4° Le travail dû à la pesanteur est nul.

On a donc

$$\frac{1}{2}m(W'^2 - W^2) = mg\left(\frac{p_1 - p}{\Pi} - h'\right) + \frac{1}{2}m(v'^2 - v^2),$$

ou

$$\frac{W'^2 - W^2 + v^2 - v'^2}{2g} = \frac{p_1 - p}{\Pi} - h'. \quad (3)$$

v et v' étant proportionnelles aux rayons r et R, on a

$$vR = v'r. \quad (4)$$

Puisque la même quantité de liquide doit passer par les canaux formés par les courbes directrices et par ceux formés par les aubes, de l'incompressibilité du liquide et de la permanence du mouve-

vement, il résulte que l'on doit avoir, en supposant que le coefficient de contraction est le même pour les premiers canaux que pour les seconds, et que de plus le rapport des épaisseurs des tôles aux passages libres est le même pour les courbes directrices que pour les aubes,

$$Vr \sin \alpha = WR \sin \beta. \tag{5}$$

La condition du maximum de travail transmis à la roue conduit à faire β très-petit, et alors on peut poser,

$$W' = v'. \tag{6}$$

On a donc $V'^2 = W'^2 + v'^2 - 2W'v' \cos \beta = 2v'^2 (1 - \cos \beta)$. (7)

Des équations précédentes on peut tirer quelques conséquences : Ajoutant les équations (1) et (3), on obtient, en faisant $W' = v'$ et $H = h - h'$,

$$\frac{V^2 + v^2 - W^2}{2g} = H. \tag{8}$$

Remplaçant dans cette équation W^2 par sa valeur (2), on conclut

$$\frac{Vv \cos \alpha}{g} = H. \tag{9}$$

Multipliant membre à membre l'équation (4) par celle (5), et divisant membre à membre l'équation obtenue par l'équation (9), on obtient

$$\frac{W'^2}{2g} \text{ ou } \frac{v'^2}{2g} = \frac{1}{2} H \frac{\tan \alpha}{\sin \beta}, \tag{10}$$

ce qui montre que v' et W' sont indépendantes de h'.

Faisant $\alpha = 35°$ et $\beta = 25°$, on a

$$\frac{W'^2}{2g} = \frac{v'^2}{2g} = \frac{1}{2} H \frac{0,7}{0,42}, \quad \text{d'où} \quad W' = v' = 0.92 \sqrt{2gH}.$$

Substituant dans l'équation (7) la valeur de v' tirée de l'équation (10), on conclut

$$\frac{V'^2}{2g} = H \frac{\tan \alpha (1 - \cos \beta)}{\sin \beta}.$$

Le premier membre est la perte de chute due à la vitesse V' que conserve l'eau ; le second membre indique cette perte en fonction de H. Pour les données précédentes, on a

$$\frac{V'^2}{2g} = H \frac{0,7 (1 - 0.91)}{0,42} = 0,15H.$$

Le travail $\mathcal{T}_m$ transmis à la roue est par conséquent les 0.85 de celui PH correspondant à la chute totale H, quelle que soit du reste la hauteur d'immersion h'.

Combinant les équations (4), (9) et (10), on conclut

$$\frac{V^2}{2g} = H\left(\frac{R}{r}\right)^2 \frac{\sin\beta}{2\sin\alpha\cos\alpha}.$$

Pour $\alpha = 35°$, $\beta = 25°$ et $\frac{R}{r} = 1.25$, on a

$$\frac{V^2}{2g} = H\times 1.25^2 \frac{0,42}{2\times 0,57\times 0,82} = 0.70H, \text{ et } V = \sqrt{2g\times 0.70H} = 0,84\sqrt{2gH}.$$

Le volume Q d'eau dépensé par une turbine est, selon qu'il s'agit des canaux directeurs ou des canaux formés par les aubes, et en se rappelant que l'on peut supposer $W' = v'$,

$$Q = kl\,(2\pi r\sin\alpha - ne)\,V, \quad \text{et} \quad Q = k'l\,(2\pi R\sin\beta - n'e')\,v'.$$

209. *Turbines de M. Fourneyron.* Au lieu des valeurs précédentes du travail moteur $\mathcal{T}_m$, et des vitesses V et v', deux turbines de M. Fourneyron ont donné à M. Morin, la levée de la vanne étant à peu près égale à la distance des deux plateaux de la roue : l'une un travail maximum transmis égal aux 0,69 et l'autre aux 0,79 de la puissance absolue de la chute, $V = 0,75\sqrt{2gH}$ pour les deux turbines ; enfin $v' = 0,81\sqrt{2gH}$ pour l'une, et $v' = 0,80\sqrt{2gH}$ pour l'autre.

Le rapport de l'effet utile d'une turbine à l'effet total dépensé diminue à mesure que la vanne s'abaisse au-dessous du point supérieur des aubes ; c'est ce que confirme le tableau suivant des résultats obtenus par M. Morin, sur une turbine de deux mètres de diamètre.

LEVÉE de la vanne.	HAUTEUR de chute.	DÉPENSE par seconde.	NOMBRE de tours par minute.	RAPPORT de $\mathcal{T}_m$ à PH.
m	m	m. cub.		
0.27	3.39	2.44	61.50	0.793
0.20	3.34	1.87	58.00	0.700
0.15	3.04	1.57	58.25	0.696
0.09	3.21	1.07	61.60	0.392
0.05	3.58	0.62	60.00	0.238

Dans la pratique :

$\frac{r}{R} = 0.75$ pour les chutes qui ne dépassent pas 2 mètres, 0.70 pour les chutes de 2 à 5 ou 6 mètres, et 0.65 pour les chutes supérieures ;

$\alpha = 25°$ à $35°$ et $\beta = 20°$ à $25°$;

k varie de 0.90 à 0.95 selon que la hauteur l est grande ou petite ;

$k' = 0.80$ pour les levées de vannes et vitesses normales de la turbine, et peut descendre à 0.75 ;

$\frac{n'}{n}$ varie de 1.33 à 1.50 ; le nombre n' est tel que la plus courte distance $a\sin\alpha - e$

de deux directrices consécutives n'excède pas 0m,06 pour des débits de 1mc,00 à 1mc,50 par 1″, et il convient qu'elle soit moindre pour des dépenses plus petites;

La vitesse de l'eau dans le cylindre du vannage peut être, d'après M. Fourneyron, les 4/5 de la vitesse due à la chute totale; on la fait ordinairement égale à 1m,50 et même plus, quoiqu'il serait convenable de la limiter à 1 mètre.

Application. Il s'agit d'établir une turbine de M. Fourneyron à un cours d'eau dont le débit est de 1mc,50 par seconde et la chute H = 3 mètres; ce qui correspond, en admettant un rendement de 0,65 à une force de 39 chevaux.

r' étant le rayon intérieur du cylindre du vannage, on a, en adoptant 1m,50 pour la vitesse dans ce cylindre,

$$3{,}1416\, r'^2 \times 1{,}50 = 1{,}50, \quad \text{d'où} \quad r' = \sqrt{\frac{1}{3{,}1416}} = 0^m{,}564.$$

Ajoutant 0m,030 pour l'épaisseur du vannage et le jeu entre ce vannage et la roue, on a

$$r = 0^m{,}594, \qquad R = \frac{0{,}594}{0{,}7} = 0^m{,}849 \text{ et } R - r = 0^m{,}255.$$

Supposant d'abord que la plus courte distance d de deux courbes directrices est 0m,06, on aura, en faisant $\alpha = 35°$ et $e = 0^m{,}005$, épaisseur au moins nécessaire pour une aussi forte turbine,

$$d + e = a \sin 35°, \quad \text{d'où} \quad a = \frac{0{,}065}{0{,}57} = 0^m{,}114.$$

Puis $$n = \frac{2\pi r}{a} = \frac{2 \times 3{,}1416 \times 0{,}594}{0{,}114} = 32{,}73.$$

Adoptons $n = 33$, ce qui donne $n' = 44$ aubes.

Pour $n = 33$, on a $$a = \frac{2\pi r}{n} = 0^m{,}113,$$

et $$d = a \sin 35 - e = 0{,}113 \times 0{,}57 - 0{,}005 = 0^m{,}059.$$

De l'équation $$Q = kl(2\pi r \sin \alpha - ne)V,$$

on tire, en faisant $k = 0{,}90$ et $V = 0{,}75\sqrt{2gH} = 0{,}75 \times 7{,}672 = 5^m{,}75$

$$l = \frac{Q}{k(2\pi r \sin \alpha - ne)V} = \frac{1{,}5}{0{,}90(3{,}73 \times 0{,}57 - 33 \times 0{,}005)5{,}75} = 0^m{,}15$$

De l'équation relative aux aubes,

$$Q = k'l(2\pi R \sin \beta - n'e')v',$$

on tire, en faisant $l = 0^m{,}15$, $k' = 0{,}80$ et $v' = 0{,}80\sqrt{2gH} = 6^m{,}14$.

$$\sin\beta = \frac{Q}{2\pi R k' l v'} + \frac{n'e'}{2\pi R} = \frac{1{,}50}{5{,}334 \times 0{,}80 \times 0{,}15 \times 6{,}14} + \frac{44 \times 0{,}005}{5{,}334} = 0{,}42$$

Sinus qui correspond à $\beta = 25°$.

Si l'on veut avoir la plus courte distance d' de deux aubes successives, on a d'abord

$$a' = \frac{2\pi R}{44} = \frac{5{,}334}{44} = 0^m{,}121;$$

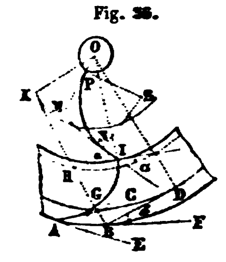
puis en faisant, comme pour les directrices, $e' = 0^m{,}005$.

$a' \sin\beta = d' + e'$, d'où $d' = a' \sin\beta - e' = 0{,}121 \times 0{,}422 - 0{,}005 = 0^m{,}046$.

N étant le nombre de tours de la turbine, on a

$$N = \frac{v' \times 60}{2\pi R} = \frac{0{,}80\sqrt{2gH} \times 60}{2\pi R} = \frac{6{,}14 \times 60}{5{,}334} = 69.$$

Fig. 36.



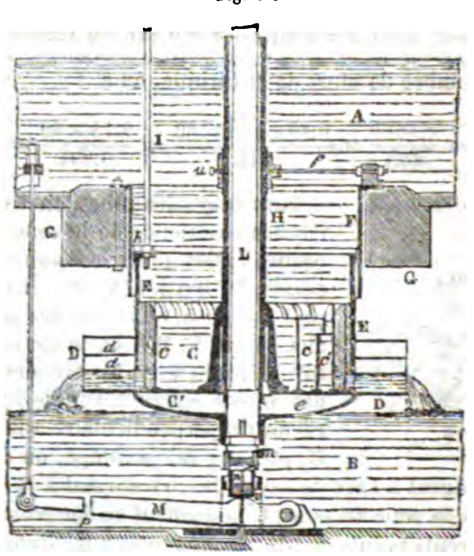
Pour tracer les aubes, on divise la circonférence extérieure de la roue en autant de parties égales qu'il y a d'aubes, *fig.* 36; des points de division A, B..., avec un rayon égal à $a' \sin\beta$, on décrit des arcs de cercle; aux points A, B... on mène les droites AC BD... faisant avec les tangentes AE, BF... des angles égaux à l'angle β; on mène le rayon BG perpendiculaire à BD, et du point H, pris sur BG prolongé, on décrit l'arc de cercle GI tangent à l'arc de rayon BG, et normal à la circonférence intérieure de la roue au point I. Le point H se détermine en menant par les différents points de GH des tangentes à la circonférence intérieure de la roue, et celui de ces points qui donne HI = HG est le centre de l'arc GI. Raccordant ensuite l'arc IG avec l'arc de rayon BG et la droite AC, on obtient la courbe IGA qui est la section horizontale de l'aube. On trace de même toutes les aubes; mais on facilite cette opération en remarquant que toutes les droites analogues à BH sont tangentes à une même circonférence décrite du centre O de la roue, avec un rayon égal à la perpendiculaire OK abaissée sur le prolongement de BH, et en remarquant aussi que toutes les droites analogues à AC et BD sont tangentes à la circonférence décrite avec la perpendiculaire OD pour rayon. Tous les points analogues à H se trouvent sur une même circonférence dont le centre est celui de la roue.

Pour tracer les courbes directrices, on mène, *fig.* 36, la droite IM faisant l'angle α avec la tangente IH à la circonférence intérieure de la roue; on mène ensuite la droite OM faisant l'angle IOM = OIM; on prend IN égal au rayon extérieur OP du tube qui enveloppe l'arbre de la roue; on élève les perpendiculaires PS, NS, et de leur point de

rencontre S, avec le rayon SP = SN, on décrit l'arc de cercle PN, qui forme, avec la partie droite NI, la coupe horizontale de la directrice.

Pour la facilité des assemblages, quelquefois la moitié des directrices, qui sont en nombre pair, ne s'étendent que de la circonférence intérieure de la roue à la moitié du rayon de cette circonférence.

Fig. 37.



La figure 37 représente, à l'échelle de 1/40, la coupe par l'axe d'une des quatre turbines-Fourneyron construites au moulin à l'anglaise de Saint-Maur, près Paris, et commandant chacune dix paires de meules.

- **A** bief supérieur;
- **B** canal de fuite;
- **C** espace dans lequel se trouvent les courbes directrices;
- **c** douze courbes directrices partant du moyeu et ayant 0m,36 de hauteur;
- **c'** douze courbes directrices partant du milieu de l'espace annulaire C, et ayant 0m,30 de hauteur;
- **C'** plateau fixe portant les directrices c, c'; il porte un moyeu très-élevé qui s'assemble sur le tuyau en fonte H;
- **i** bague en fer tournée; elle est formée de deux morceaux, et sert à fixer le plateau C' sur le tuyau H; en soulevant le plateau, on enlève la bague et on descend le plateau;
- **D** roue proprement dite, contenant trente aubes de 0m,27 de hauteur;
- **e** disque servant de bras à la roue. Il est percé de quatre trous qui permettent de retirer les objets qui peuvent pénétrer dans les compartiments; son moyeu se fixe sur l'arbre à l'aide d'une bague en fer semblable à celle i;
- **d, d** cloisons horizontales en tôle divisant la hauteur de la roue; le disque qui termine supérieurement la roue est également en tôle;

vanne; c'est un cylindre en fonte, dont le diamètre extérieur est exactement égal au diamètre intérieur de la roue;

coins en bois vissés contre le cylindre E. Leur forme est celle des canaux compris entre les directrices, qu'ils ferment quand on baisse la vanne. On a soin de les arrondir supérieurement et inférieurement, afin de diminuer la contraction des veines fluides, qui est d'autant plus grande que la vanne est plus rapprochée du plateau C'. Leur longueur, mesurée horizontalement et suivant la direction des canaux dans lesquels ils glissent, est de 0^m,25 environ;

garniture formée d'un cuir recourbé, empêchant l'eau de s'échapper entre le cylindre E et le tuyau de retenue en fonte F;

trois tiges servant à manœuvrer la vanne; elles pénètrent chacune dans le moyeu à écrou d'un pignon; une roue d'engrenage folle sur l'arbre L permet de faire tourner simultanément les trois pignons, et par suite de manœuvrer la vanne;

charpente à laquelle est fixé le système;

cylindre en fonte enveloppant l'arbre de la turbine, et auquel est fixé le plateau C' qui porte les directrices; il s'élève jusqu'au dessus du niveau de l'eau, où il se fixe soit à une charpente, soit à une pièce de fonte;

trois fortes tiges reliant un manchon en fonte qui entoure le cylindre H à la charpente G. Des vis *u* servent à centrer le tuyau H et à le fixer au manchon. Cette précaution est nécessaire lorsque, comme dans ce cas, la hauteur est grande;

vis fixant le cylindre H et le maintenant dans la position verticale;

arbre moteur en fonte;

pointe en acier fixée par deux petites clefs dans une crapaudine en cuivre, dans laquelle arrive un filet d'huile; sur la tête de cette pointe tourne un grain d'acier dont est garni le bas de l'arbre L; ce grain est représenté coupé dans la figure. La pointe *n* est garnie de saignées latérales qui amènent l'huile sur toute la surface frottante;

bague fixée au bas de l'arbre; elle sert à retenir l'huile et à maintenir l'arbre sur le pivot *n*. Par cette disposition, les matières solides seraient obligées de s'élever pour venir entre les surfaces frottantes;

chaise sur laquelle repose la crapaudine; deux petites clefs y fixent celle-ci de manière à l'empêcher de tourner tout en lui permettant de se soulever;

fort levier, de 2^m,57 d'une articulation à l'autre, servant à maintenir le système mobile à une hauteur convenable;

tube communiquant au-dessus du sol de l'usine, et amenant l'huile dans la crapaudine.

MACHINES A ÉLEVER L'EAU.

210. *Machines à colonne d'eau.* Ces machines, employées en plusieurs endroits pour les épuisements des mines, peuvent être à double effet; mais elles sont ordinairement à simple effet, c'est-à-dire que la colonne d'eau n'agit que sur une des faces du piston. Elles communiquent le mouvement à des pompes, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un balancier, dont les bras sont inégaux, afin de diminuer la course des pistons des pompes.

L'effet utile rendu par ces machines, c'est-à-dire le produit du poids d'eau élevé par la hauteur d'élévation, peut être exprimé par

kPH.

P poids d'eau dépensé ;
H hauteur de chute ;
PH effet total dépensé ;
k coefficient, qui provient du frottement de l'eau dans les tuyaux et le corps de pompe, et de celui des pistons et autres organes de la machine ; des changements de direction et de vitesse de l'eau ; de la vitesse que conserve l'eau motrice en sortant du tuyau d'évacuation et de celle que conserve l'eau élevée en sortant du tuyau ascensionnel, etc.

Les anciennes machines, dites de Hœll, employées aux épuisements des mines de Hongrie, ont donné les résultats du tableau suivant, que nous extrayons du *Traité des machines* de Hachette :

HAUTEUR des sources.	DIAMÈTRES des pistons.	EAU dépensée en 24 heures.	HAUTEUR d'élévation de l'eau.	EAU élevée en 24 heures.	RAPPORT de l'effet utile à l'effet dépensé.
m	m	m. cub.	m	m. cub.	
85.757	0.354	1900.328	89.656	847 036	0.45
89.656	0.325	2467.965	214.290	479.879	0.46
79.910	*id.*	685.550	46.777	394.185	0.33
79.910	*id.*	582.744	28.585	589.566	0.36
89.656	*id.*	2467.965	66.267	1336.815	0.40

Le diamètre du tuyau de chute de la première machine de ce tableau est de $0^m,162$. La course du piston est de $1^m,95$, et il s'élève et s'abaisse environ sept fois par minute.

Dans les machines établies plus récemment dans les mines de Hongrie, du Hartz, etc., l'effet utile est plus considérable que ne l'indique le tableau précédent, et il paraîtrait que des machines établies à Freyberg, en Saxe, ont donné un effet utile égal à 0,70PH, et même 0,75PH quand les pompes mues par les machines travaillaient avec toute l'eau qu'elles pouvaient contenir.

On est porté à supposer que les deux énormes machines construites à Huelgoat, par M. Juncker, produiront ce dernier effet utile quand elles fonctionneront sous la charge que l'on doit atteindre. Quand la quantité d'eau à élever n'était que de 29,9 litres par seconde pour les deux machines, et la hauteur d'élévation 179 mètres, l'effet utile n'était que de 0,45PH. Les dimensions ont été déterminées pour élever 30 litres d'eau, par seconde et par machine, à une hauteur de 230 mètres ; conditions dans lesquelles se trouveront les machines quand les travaux souterrains seront arrivés à la profondeur qu'ils doivent atteindre.

La chute motrice étant de 60 mètres, on présume que la dépense d'eau sera de 160 à 175 litres par seconde pour élever les 30 litres à 230 mètres d'où il résulterait un effet utile de 0,72 à 0,66PH. M. Juncker compte sur une dépense de 178 litres d'eau et un effet utile de 0,65PH.

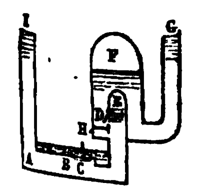
Ces deux machines, établies à 110 mètres environ au-dessous de la urface du sol, élèveront l'eau d'un seul jet à 230 mètres de hauteur, ans aucun intermédiaire, ni levier, ni engrenage (page 242). Le piston oupape qui permet à l'eau d'arriver sur le piston moteur est disposé le manière qu'au commencement et à la fin de la course de ce dernier, eau n'arrive qu'avec une très-faible vitesse, ce qui évite tout changenent de direction brusque et toute secousse ; aussi ces énormes mahines exécutent-elles leurs grands mouvements sans le moindre bruit.

Les cylindres de ces machines sont en fonte et ouverts par le haut; s ont 1m,03 de diamètre et 2m,75 de hauteur. Le piston est en bronze, vec une simple garniture en cuir; sa course est de 2m,30, et il en exéute jusqu'à 5,5 par minute. La tige de pompe est fixée directement au iston moteur; elle traverse le fond du cylindre, et elle descend jusqu'au fond du puits, où elle s'adapte directement au piston de la pompe. Afin de faire en partie équilibre au poids de 16000 kilogr. environ de la tige de pompe, on a imaginé de placer le cylindre moteur 14 mètres au-dessous de la galerie d'écoulement des eaux ; ce qui oblige d'élever l'eau, après son action sous le piston moteur, à 14 mètres de hauteur; c'est la tige qui, en descendant, produit ce travail. ette disposition porte à 74 mètres la hauteur du tuyau de chute, qui ouvait n'être que de 60 mètres, hauteur de chute motrice. Les tuyaux le chute et d'évacuation ont 0m,38 de diamètre, le corps de pompe a m,455, et la colonne d'ascension 0m,275.

211. *Bélier hydraulique.* Cette machine, fig. 38, imaginée par Montgolfier en 1797, se compose des parties suivantes :

B *corps de bélier;* il établit la communication entre le réservoir alimentaire, ou le tuyau de chute AI, et la partie opérante de la machine;
soupape d'arrêt, plus dense que l'eau;
clapet d'ascension, qui est respectivement fermé ou ouvert, quand la soupape C est ouverte ou fermée;
La partie qui porte la soupape C et le clapet D s'appelle *tête du bélier;*
matelas d'air destiné à diminuer les fortes secousses de l'eau contre la tête du bélier;
réservoir d'air destiné à rendre régulière l'ascension de l'eau;
tuyau d'ascension;
clapet aspirateur s'ouvrant du dehors au dedans, et destiné à fournir, à chaque coup de bélier, une certaine quantité d'air au matelas E et au réservoir F, qui, sans cette précaution, en seraient promptement privés.

Fig. 38.



La soupape C étant abaissée, l'eau tend à s'écouler par l'orifice ouvert avec une vitesse due à la hauteur de l'eau dans le réservoir alimentaire ; mais cette soupape étant d'un poids convenable, elle est entraînée par le courant, et elle vient s'appliquer sur son siége, de manière à fermer passage à l'eau, qui, en vertu de sa vitesse acquise, réagit contre les parois de

l'appareil, ouvre le clapet D, pénètre dans le réservoir F, et de là d le tuyau d'ascension', où elle s'élève à un niveau supérieur à celui réservoir alimentaire. Bientôt la vitesse que possédait l'eau est détru le clapet D se referme, la soupape C s'abaisse, et une nouvelle péri recommence sans interruption. Dès que l'eau a réagi sur la tête bélier après la fermeture de la soupape C, en vertu de l'élasticite matelas E et des parois de l'appareil, il se produit un retour d'eau v la source, qui diminue la pression au point de permettre au clapet H s'ouvrir et de laisser entrer une certaine quantité d'air dans l'appar

Quelquefois la soupape C et le clapet D sont remplacés par des b lets creux dont le poids est double de celui de l'eau qu'ils déplace Dans ce cas, afin de ne pas gêner la circulation de l'eau dans l'ap reil, on place le boulet d'arrêt sur le prolongement de AB, au delà la position du boulet d'ascension. On a soin de garnir de cuir ou toile goudronnée les orifices que ces boulets doivent fermer.

Un bélier construit par M. Montgolfier fils, à Mello, auprès de Cl mont-sur-Oise, est muni de 7 boulets ou soupapes d'arrêt de 0m,04 diamètre, dont les siéges sont sur une même platine en fonte : le bou ou clapet d'ascension a aussi 0m,04 de diamètre. Le corps de bélier en fonte et pèse 1450 kilogrammes ; la tête du bélier seule p 200 kilogrammes. L'épaisseur des tuyaux est de 0m,014. La capa du réservoir à air n'est que de 6 litres. Ce bélier bat 60 coups à la m nute. (Consulter le tableau suivant.)

Jusqu'à présent, la théorie n'a pu donner une expression satis sante de l'équilibre dynamique de cette machine, dans laquelle il passe des réactions qu'on ne peut analyser. La pratique même donné que des résultats trop discordants pour permettre d'établir formule générale, d'une exactitude suffisante, établissant les relati qui doivent exister entre les dimensions des différentes parties du lier, ainsi que le rapport de l'effet utile au travail dépensé. Cependa d'après les résultats d'expériences faites par Eytelwein sur deux béli de différentes grandeurs, M. d'Aubuisson a conclu la formule prati

$$ph = 1,20\,P(H - 0.2\sqrt{Hh}).$$

- p poids d'eau élevé ;
- h hauteur d'élévation ;
- P poids d'eau dépensé ;
- H hauteur de chute.

Dans ses expériences, Eytelwein a reconnu :

1° Qu'une grande longueur de corps de bélier était avantageuse à l'effet ; que ja cette longueur ne devait être moindre que les 3/4 de la hauteur à laquell élève l'eau, et que son diamètre est convenablement donné par l'expre $1.7\sqrt{Q}$, Q étant le volume d'eau dépensé par seconde ;

2° Que le diamètre du tuyau d'ascension pouvait être moitié de celui du corp bélier ;

La figure 41 représente à l'échelle de 1/20 la coupe par l'axe d'une mpe à piston plongeur.

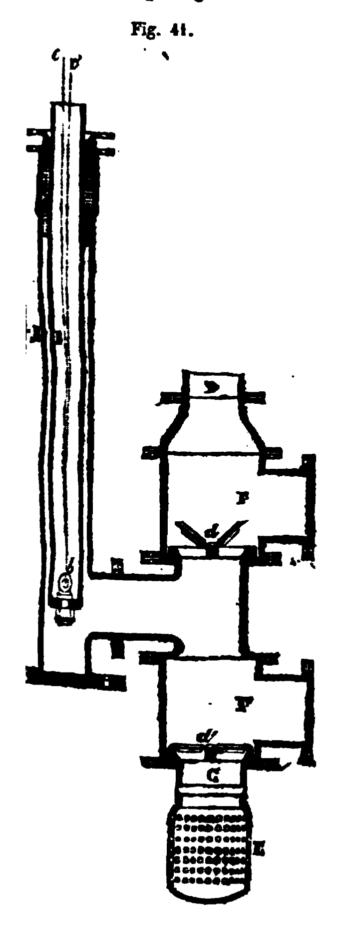


Fig. 41.

A corps de pompe;
B piston, au fond duquel est boulonnée une oreille à laquelle s'articule la tige de la pompe. En fixant la tige au bas du piston, on diminue son obliquité, et par suite le frottement du piston dans son stuffing-box;
bc, bc' lignes représentant les positions de l'axe de la tige dans ses plus grands écarts;
a étoupes du stuffing-box;
o coussinet en bronze retenant les étoupes;
F, F' chapelles;
D tuyau d'ascension;
C tuyau d'aspiration;
E *lanterne*;
d soupape de retenue;
d' soupape d'aspiration.

Si le piston faisait un vide parfait, l'eau s'élèverait dans la colonne d'aspiration à une hauteur de $10^m,33$ au-dessus du niveau du puisard, hauteur faisant équilibre à la pression atmosphérique au point où se trouve la pompe; mais dans la pratique, quand le piston est au bas de sa course, la pression de l'air qui occupe l'espace compris entre le piston et la soupape d'aspiration étant, en négligeant le poids de la soupape, égale à la pression atmosphérique, quand piston est en haut de sa course la pression de cet air devient

$$h\,\frac{q}{Q+q}.$$

pression atmosphérique;
espace nuisible ou volume de l'air lorsque le piston est au bas de sa course;
volume engendré par le piston dans une levée;
$+q$ volume occupé par l'air lorsque le piston est en haut de sa course.

Pour qu'après un plus ou moins grand nombre de coups de piston

la pompe puisse s'amorcer, c'est-à-dire pour que l'eau puisse entrer dans le corps de pompe, il faut donc que l'on ait au maximum, en désignant par x la hauteur de la soupape d'aspiration au-dessus du puisard, et en négligeant le poids de cette soupape,

$$x = h - h\frac{q}{Q+q} = h\left(1 - \frac{q}{Q+q}\right).$$

Il ne faut pas seulement que l'eau puisse pénétrer dans la partie inférieure du corps de pompe, mais aussi qu'elle puisse atteindre le point le plus élevé de la course du piston, lequel, en négligeant le poids des soupapes et la force élastique de l'air et de la vapeur que dégage l'eau soumise à une faible pression, peut se trouver à une hauteur $h=10^{m},33$ au-dessus du niveau du puisard. Dans la pratique, il est rare que l'eau puisse s'élever à 9 mètres de hauteur; il convient de considérer 8 mètres à $8^{m},50$ comme hauteur moyenne d'élévation maximum. La hauteur de la colonne d'aspiration ne se prend guère que de 5, 6 ou 7 mètres.

La vitesse avec laquelle l'eau peut entrer dans le corps de pompe, lorsque le piston occupe un point quelconque de sa course, est, en négligeant le poids des soupapes, leur frottement et celui de l'eau contre le tuyau d'aspiration.

$$v = \sqrt{2g(h-h')}. \qquad (a)$$

v vitesse de l'eau dans la soupape d'aspiration;
h pression atmosphérique, exprimée en eau que l'on élève;
h' hauteur du point où se trouve le piston au-dessus du niveau du puisard. Cela suppose que l'eau ne dégage ni air ni vapeur, et qu'elle atteint le piston; s'il n'en était pas ainsi, h' serait égale à la hauteur du niveau de l'eau dans le corps de pompe, au-dessus du puisard, augmentée de la pression de l'air et de la vapeur qui séparent l'eau du piston.

Pour que le piston fonctionne sans choc, il suffit que l'eau arrive en même temps que lui au point supérieur de sa course. Supposant la vitesse du piston uniforme, il suffira donc que l'on ait

$$ksv = SV, \quad \text{d'où} \quad s = \frac{SV}{kv}.$$

k coefficient de la dépense (139);
s section de la soupape d'aspiration;
v vitesse de l'eau dans cette soupape, quand son niveau arrive au point supérieur de la course du piston; v a alors sa plus petite valeur (a);
S section du piston;
V vitesse du piston.

Si le piston est mû par une manivelle ou par un excentrique, sa vitesse n'est pas uniforme; dans ce cas, pour s'assurer que le corps de pompe sera plein quand le piston arrivera en haut de sa course, on déterminera d'abord par tâtonnement le point où l'eau peut commencer à ne plus suivre le piston; pour ce point, on aura

$$ksv = SV,$$

et V ayant les valeurs qui correspondent à ce point, v se détermine ar la formule (a), et V est donnée, d'une manière approchée, à l'aide une épure représentant le mouvement du piston par rapport à celui a bouton de la manivelle. Pendant que la manivelle termine le reste e sa course, il faut que le volume d'eau qui s'introduit dans le corps e pompe soit égal au volume engendré par le piston pour arriver la fin de sa course.

Ce volume est (n° 169, formule (e))

$$Q' = Tks\sqrt{2g}\left(\sqrt{h_1} - \frac{Tks\sqrt{2g}}{4S}\right).$$

volume d'eau qui s'introduit dans le corps de pompe pendant le reste de la course du piston ;
temps que met le piston à terminer sa course.
différence de charge sur les deux faces de la soupape d'aspiration, au commencement du temps T ; elle est égale à h diminuée de la hauteur du point où l'eau commence à ne plus suivre le piston, au-dessus du puisard.
Au n° 169, la section s de la soupape représente la section de l'orifice d'écoulement, la section S du corps de pompe, la section A du bassin qui se remplit.

Pour que le piston ne choque pas l'eau quand il change de direction, on doit avoir, au minimum,

$$Q' = LS.$$

espace qu'il reste à parcourir au piston pour terminer sa course.

Dans la pratique, il convient non-seulement d'atteindre cette limite ur Q', mais aussi que l'eau accompagne le piston pendant toute sa urse. On devra donc prendre s pour le cas où les valeurs, correspondantes entre elles, de V et de v exigent la valeur maximum de s. Les diamètres des tuyaux d'aspiration et d'ascension sont ordinairement compris entre la 1/2 et les 2/3 de celui du corps de pompe ; il convient pas de les prendre de moins de la moitié, et quelquefois sont égaux à celui du piston.

Pour une pompe quelconque, l'équilibre dynamique donne, en négeant toutes les résistances passives (49),

$$\mathcal{T}_m = PH.$$

travail moteur transmis à la tige du piston ;
poids d'eau élevé ;
hauteur à laquelle on élève l'eau au-dessus du puisard ;
effet utile produit.

Dans la pratique, l'effet utile est diminué par le frottement de la niture du piston contre les parois du corps de pompe, par celui la tige du piston dans le stuffing-box, et par celui de l'eau contre les

parois des tuyaux et du corps de pompe ; il est diminué aussi par poids et le frottement des soupapes , par les variations de directi et de vitesse que subit l'eau dans son parcours, et par la vitesse q conserve l'eau à sa sortie du tuyau d'ascension. Avec des pompes bi proportionnées, on peut obtenir PH = de 0,75 à 0,85 $\mathcal{T}_m$; mais il co vient de ne compter que sur 0,75 $\mathcal{T}_m$ et même moins.

Langsdorf donne, pour l'expression du frottement de la garnitu du piston,

$$n\mathrm{DH}'.$$

D diamètre du piston en mètres;
H' pression de l'eau sur le piston, exprimée en mètres de hauteur d'eau;
coefficient égal à 7 pour les corps de pompe en laiton bien poli, à 15 pour ceu fonte simplement forés, à 25 pour ceux en bois assez lisses, et à 50 pour c en bois dégradés par l'usage.

Comme on le voit, l'auteur de cette formule admet que le frottem est indépendant de la hauteur de la garniture (65). Ce frottement éta exprimé en kilogrammes, le travail qu'il absorbe en une seconde

$$n\mathrm{DH}'\mathrm{V} \text{ kilogrammètres.}$$

Pour des pompes bien construites et en très-bon état d'entretie le volume d'eau élevé est égal à celui engendré par le piston diminué 0,03 à 0,04; mais pour les pompes ordinaires, ce déchet va à 0,1 et mê à 0,2. Des pompes, au lieu d'élever un volume d'eau moindre que ce engendré par le piston, ont donné un débit plus grand ; cela tient à que l'eau en mouvement continue encore sa marche après l'arri du piston à la fin de sa course; ce qui ne peut avoir lieu qu'aut que la vitesse est grande, circonstance qu'il faut éviter.

Pour les épuisements des mines, on a quelquefois à élever l'ea des hauteurs considérables. Une seule pompe peut le faire d'un s jet, comme à Huelgoat (210); mais les clapets durent très-peu, e convient qu'une même pompe n'élève l'eau qu'à une hauteur de 60 mètres; pour des hauteurs plus considérables, on doit emplo plusieurs pompes étagées sur la hauteur du puits. Des pompes blies à Illsang, en Bavière, par M. Reicheinbach, élèvent l'eau d seul jet à 356 mètres.

Pour les pompes mues à bras d'homme, la course du piston de 0^m,30 environ ; pour celles mues par des machines, elle est ordi rement de 1 mètre à 1^m,20, quelquefois elle va à 2 mètres, et à Hu goat elle est de 2^m,30.

La vitesse du piston d'une pompe marchant régulièrement att rarement 0^m,30 ; à Huelgoat, elle est cependant de 0^m,42 ; mais il c vient qu'elle soit comprise entre les limites 0^m,16 et 0^m,24.

Pour l'épuisement des mines de plomb du Bleyberg, on a ét

deux machines, système Cornouailles, d'une puissance qui dépasse tout ce qui avait été fait, même en Angleterre.

Le piston à vapeur de chaque machine a 2m,67 de diamètre et une course de 3m,66.

Les pistons des pompes ont le même diamètre que ceux à vapeur, mais seulement 2m,86 de course. Avec ces dimensions, on a dû employer les soupapes à double siége ou à lanternes, qui sont beaucoup plus faciles à soulever, une partie de la pression de l'eau n'agissant pas sur la soupape.

Les machines peuvent donner facilement 7 levées par minute; elles sont à haute pression, à détente et à condensation. En supprimant la détente, chaque machine pourrait donner une puissance de 700 à 800 chevaux.

Dans des expériences faites avec soin, la profondeur d'épuisemen n'étant encore que de 71m,50, et la détente ayant lieu aux 0,19 de l course, l'effet utile moyen a été de 234 chevaux, et la consommation de combustible, de 1k,45 par cheval utile et par heure. Le volume d'eau élevé a été un peu supérieur à celui engendré par les pistons.

Pour les pompes à incendie, il y a deux pistons qui ont ordinairement 0m,12 de course, et qui ne s'élèvent, dans les mouvements les plus rapides, que 60 fois par minute, ce qui correspond à 0m,24 de vitesse. Les pistons, qui sont en bronze, ont environ 0m,60 de longueur et 0m,12 de diamètre. Le récipient d'air, que l'on place entre les deux corps de pompe, a ordinairement 0m,55 de hauteur sur 0m,25 de diamètre; il est destiné à rendre constant le jet d'eau. Le long ajutage ou *lance* qu'on dirige vers le feu à éteindre a environ 0m,016 de diamètre à l'orifice. Avec les proportions et la vitesse précédentes, huit pompiers obtiennent un jet de 26 mètres de hauteur (188).

Pour les grandes pompes, afin de rendre, autant que possible, le mouvement de l'eau constant dans la colonne d'ascension, et même dans celle d'aspiration quand elle est longue, il convient de munir chacune d'elles d'un récipient d'air placé à la partie inférieure; ces récipients ont encore l'avantage de rendre moins violents les chocs des soupapes.

Quand les eaux tiennent en suspension des corps étrangers, on garnit le bas du tube plongeur d'une caisse percée de petits trous, appelée *lanterne;* l'eau arrive dans la colonne d'aspiration en passant par ces petits trous où elle subit, en quelque sorte, une filtration.

Pompe centrifuge d'Appold. Cette pompe n'est autre chose qu'un ventilateur à axe horizontal et à ailes courbes dans lequel l'eau arrive par les deux joues. La hauteur d'élévation de l'eau est proportionnelle au carré de la vitesse du ventilateur, mais l'effet utile baisse à mesure que cette hauteur augmente. Une de ces pompes, dont le ventilateur a 0m,230 de diamètre extérieur et 0m,115 de diamètre in-

térieur, dont les ailes ont $0^m,075$ parallèlement à l'axe et $0^m,0575$ suivant le rayon, a donné un rendement de 0,60 pour une hauteur d'élévation de 2^m; mais ce rendement a baissé à 0,40 pour des hauteurs plus grandes. La caisse dans laquelle se meut le ventilateur n'a que $0^m,075$ de largeur en regard des ailes, plus le jeu nécessaire au mouvement de celles-ci; puis va en s'élargissant de manière à former un canal rectangulaire de $0^m,300$ de largeur. Le pourtour des ailes est en contact avec ce canal en un point, et de ce point la paroi de la caisse va en s'éloignant du ventilateur jusqu'au niveau de l'axe de celui-ci; puis s'élève verticalement pour se raccorder avec le tuyau d'ascension qui a $0^m,30$ de diamètre intérieur. Il y a 6 ailes courbes inclinées à 15° sur la circonférence intérieure et à 22° sur la circonférence extérieure; les rayons passant par les extrémités d'une même aube font entre eux un angle de 84°.

213. *Presse hydraulique.* Quoique cette machine ne soit pas employée à élever l'eau, sa manière de fonctionner lui fait naturellement prendre place à côté des pompes. La pression théorique que peut transmettre le plateau fixé au grand piston d'une presse hydraulique est

$$Q = \frac{PLD^2}{ld^2}.$$

Q pression transmise;
P force motrice; un homme agissant sur un levier sans faire usage du poids de son corps donne moyennement P = 25 kilog., et même P = 50 kilog., si le travail n'est que d'un instant;
L bras de levier de la puissance P, ou distance du point d'application de cette force à l'axe de rotation de son levier;
D diamètre du grand piston;
d diamètre du petit piston;
l bras de levier de la résistance qu'oppose le petit piston au mouvement du levier de la puissance P; cette résistance est égale à la pression de l'eau sur le petit piston, ou encore à $P\frac{L}{l}$.

Supposant P = 25 kilog., L = $1^m,00$, D = $0^m,20$, $l = 0^m,03$ et $d = 0^m,0$[illegible] on a

$$Q = \frac{25 \times 1 \times 0.04}{0,03 \times 0,0009} = 37037 \text{ kil.}$$

Les diverses résistances passives de la machine, et surtout le frottement de la garniture, font que la pression réelle Q' que l'on peut obtenir dans la pratique n'est que les 0,80 de Q pour des efforts modérés; elle atteint les 0,85 de Q pour de grands efforts.

Le rapport de la vitesse du grand piston à celle du petit est égal au rapport inverse des sections ou des carrés des diamètres de ces pistons; pour l'exemple précédent, ce rapport est donc $\frac{d^2}{D^2} = \frac{0,000\,9}{0,04} = \frac{9}{400}$

Les pistons sont pleins et ils se meuvent dans un stuffing-box ordinaire dont les étoupes sont remplacées par des rondelles de cuir; la garniture du grand piston a 0m,04 de hauteur, et il convient, afin de la rendre bien étanche, de la disposer de manière que non-seulement la pression du stuffing-box l'applique, en l'élargissant, contre le piston et le renflement du corps de pompe, mais aussi qu'elle fasse fermeture autoclave.

On se rendrait compte du frottement de la garniture des pistons à l'aide, soit de la formule du n° 65, dans laquelle f varierait de 1/5 à 1/6, soit de celle de Langsdorf (page 242).

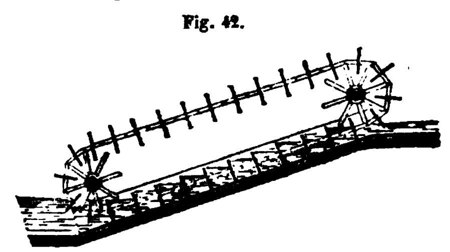
Dimensions des presses à fourrage employées en Algérie et construites à Liverpool, ainsi que de celles qui ont servi à élever les tubes du pont Britannia.

	Algérie.	Britannia.
Diamètre D du piston	0m,2795	0m,510
Diamètre intérieur du corps de pompe	0m,309 0	0m,560
Épaisseur de la fonte	0m,154 5	0m,153
Pression intérieure sur un centimètre carré	1078k,7	569k,7
Pression sur toute la surface du piston	660 140k	1 161 500k
Effort de rupture des cylindres par millimètre carré	12k,26	6k,83

La fonte travaillant à une charge voisine de celle de rupture (190), elle n'a résisté que parce qu'on l'a obtenue par un mélange de fontes choisies, et encore un cylindre d'Algérie s'est rompu brusquement de haut en bas.

214. *Chapelet incliné.* Cette machine se compose d'une série de palettes rectangulaires fixées à une chaîne sans fin, et se mouvant de bas en haut dans une auge inclinée en bois. Cette auge plonge dans le puisard et s'élève jusqu'à la hauteur à laquelle il convient de monter l'eau.

Fig. 42.



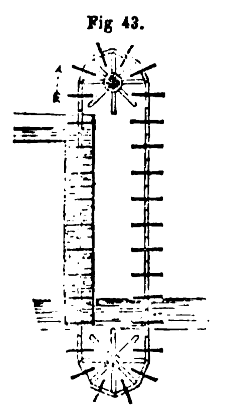
Le jeu laissé entre les bords latéraux des palettes et les parois de l'auge est de 0m,006 environ. Pour une même section de palette, le développement de la partie de son contour en contact avec l'auge est minimum, ainsi que la quantité d'eau qu'elle laisse échapper, quand sa hauteur est moitié de sa longueur; cependant, dans la pratique, la hauteur est quelquefois les 4/5 de la longueur. L'écartement des palettes varie de 1 fois à 1 fois 1/2 leur hauteur, et leur vitesse, de 1 mètre à 1m,50 par seconde.

Un homme exerçant sur une manivelle un effort de 8 kilog. avec une vitesse de 0m,75 par seconde peut produire, en 8 heures, un effet

utile moyen équivalant à 80 ou 90 mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre de hauteur; mais on ne doit compter, en général, que sur un effet utile égal aux 0,40 du travail dépensé ; ce faible rendement fait que cette machine est à peu près abandonnée.

Chapelet vertical. Cette machine ne diffère de la précédente qu'en ce que l'auge inclinée est remplacée par un tuyau vertical, appelé *buse*, à section carrée ou cylindrique. Les palettes ont la même forme et de $0^m,13$ à $0^m,16$ de côté ou de diamètre; leur jeu dans la buse est moins grand que pour les chapelets inclinés, et, afin de diminuer encore les pertes d'eau, on rend ce jeu le plus petit possible en plaçant au bas de la buse un tuyau métallique bien dressé, de la section des palettes et d'une longueur excédant un peu la distance de deux palettes consécutives. Souvent les palettes sont formées d'une rondelle en cuir gras serrée entre deux plaques de tôle ; cette rondelle fait garniture et rend les pertes d'eau aussi petites que posssible.

Fig 43.



Le chapelet vertical convient surtout pour les épuisements où il faut élever l'eau à plus de 4 mètres de hauteur. La longueur de la buse est en général comprise entre 4 et 6 mètres.

On emploie de 4 à 8 hommes appliqués à des manivelles de 0^m,[illegible] de rayon et faisant de 20 à 30 tours par minute pour manœuvrer un chapelet vertical. Ces hommes travaillant 8 heures par jour, et par relais de deux heures, produisent chacun un effet utile journalier équivalant à 110 ou 120 mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre. En général, on peut compter que l'effet utile moyen est égal aux 0,65 de l'effet dépensé, et que la quantité d'eau élevée est les 5/6 de l'eau d'abord puisée.

Les chapelets peuvent être mus non-seulement par des hommes, mais aussi par des chevaux à l'aide d'un manége, et même par des roues hydrauliques et des machines à vapeur.

215. *Noria.* Cette machine n'est autre chose qu'un chapelet vertical dans lequel la buse et les palettes sont remplacées par des seaux fixés à une chaîne sans fin, et dont la capacité est ordinairement de 7 à 8 litres, et va quelquefois à 15 litres.

Fig. 44.



Dans une noria, afin que les seaux puissent se vider, on est obligé de monter l'eau à un niveau supérieur à celui auquel on veut l'élever; de là il résulte que pour obtenir un travail utile Ph, on est obligé, abstraction faite des différentes résistances passives, de produire un travail

$$P(h+h').$$

- P poids d'eau élevé;
- h hauteur à laquelle on veut élever l'eau;
- h' excès de hauteur auquel on est obligé d'élever l'eau pour que les seaux versent à un niveau convenable; sa valeur est ordinairement égale à $0^m,75$; c'est le rayon du cercle circonscrit à l'hexagone qui sert de tambour, augmenté de $0^m,10$ à $0^m,20$.

La valeur de h' restant constante, quelle que soit celle de , le rapport de l'effet utile au travail dépensé augmentera à mesure ue la hauteur h sera plus grande; c'est du reste ce que confirment es résultats pratiques du tableau suivant, obtenus avec une noria dans aquelle on avait $h' = 0^m,75$. La machine était mue par de forts ouriers produisant sur des manivelles un effort de 9 kilog. avec une itesse de $0^m,75$ à $0^m,80$ par seconde.

Valeur de h.	Rapport de l'effet utile à l'effet dépensé.
$1^m,00$ à $2^m,00$	0,48
2 ,50 à 2 ,60	0,57
3 ,00 à 3 ,30	0,63
3 ,60 à 4 ,00	0,66

Une bonne noria, établie par M. Abadie, près de Toulouse, a pour

tambour une lanterne à 6 fuseaux en fer de 0m,03 de diamètre; ces fuseaux sont espacés de 0m,45 et relient deux plateaux en fonte dont l'écartement est de 0m,43. L'axe du tambour est en fer, et a 0m,054 de quarrissage. La chaîne a 13m,72 de longueur, et elle est formée de 28 chaînons portant chacun un seau en feuilles de cuivre de 15 litres de capacité.

La surface du bassin qui reçoit l'eau est à 0m,07 au-dessous de l'axe du tambour, et à 5m,13 au-dessus du niveau de l'eau dans le puisard. Un cheval ordinaire de jardinier fait fonctionner cette machine, et produit un effet utile équivalant à 118 mètres cubes d'eau élevés à un mètre de hauteur par heure ; admettant, avec M. d'Aubuisson, que dans ce même temps le travail produit par un cheval attelé à un manége équivaut à 144 mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre, l'effet utile est donc les 0,82 du travail dépensé.

D'après Navier, une noria manœuvrée par deux chevaux aurait élevé 70,12 mètres cubes d'eau à 3m,60 de hauteur, ce qui équivaut à 126 mètres cubes à 1 mètre par cheval ; l'effet utile serait donc les 0,88 du travail dépensé. Il convient de ne compter que sur un effet utile égal aux 0,70 ou 0,80 du travail dépensé.

Outre l'effet utile considérable rendu par la noria, elle a encore l'avantage de pouvoir servir à élever les eaux bourbeuses, comme le sont généralement les eaux d'épuisement, ce qui est impossible avec les chapelets.

216. *Roues élévatoires.* Ces roues, qui sont à palettes planes, agissent à la manière des chapelets, mais en se mouvant dans un coursier circulaire. Nous nous contenterons de donner les dimensions des parties principales de celle qui a été établie pour élever les eaux de la Seine dans la gare de Saint-Ouen.

Diamètre extérieur de la roue.	10m,672
Diamètre intérieur.	10m,672 — 1m,648 = 9m,024
Longueur des aubes.	1m,216
Hauteur des aubes, mesurée suivant ces aubes, qui sont un peu inclinées sur le rayon. . . .	0m,90
Hauteur des aubes, mesurée suivant le rayon. . .	0m,824
Nombre d'aubes.	36

D'après les observations faites par M. Walter de Saint-Ange, cette roue élève 2500 mètres cubes d'eau à 4 mètres de hauteur en une heure ; la force de la machine étant supposée être de 45 chevaux, le rapport de l'effet utile à l'effet dépensé est 0,82 ; mais il eût été convenable d'évaluer exactement la force de la machine.

217. *Roues à seaux ou à godets.* Ces roues, employées fréquemment aux irrigations et aux usages domestiques à cause de leur grande simplicité et de leur peu d'entretien, sont à aubes planes, dont un plus ou

moins grand nombre portent des coffres fermés aux deux extrémités, et garnis sur une face d'une ouverture qui permet l'entrée et la sortie de l'eau. Par le mouvement de la roue, les coffres puisent successivement l'eau dans le courant moteur même, et viennent la verser dans une auge placée latéralement vers le sommet de la roue.

Les coffres, à moins de régler convenablement leur ouverture, perdent toujours à leur sortie du courant une partie de l'eau d'abord puisée ; de plus, le versement ne s'opère qu'à un niveau supérieur au point auquel on doit élever l'eau. C'est afin d'atténuer autant que possible ces causes de pertes d'effet utile, que dans l'application de ces roues aux grands épuisements, on a remplacé les coffres fixés aux aubes par des seaux ou godets mobiles autour d'un axe placé au-dessus de leur centre de gravité ; par cette disposition, les godets ne perdent leur eau qu'au sommet de la roue où un taquet les fait verser.

Comme, pour les épuisements, l'eau élevée n'est pas prise dans le courant moteur, les godets sont montés sur une roue séparée de la roue motrice et formée de deux plateaux suffisamment écartés pour que les godets puissent être suspendus entre eux. Perronet a appliqué avec beaucoup de succès une machine semblable aux fondations du pont de Neuilly. Le diamètre de la roue motrice était $5^m,85$, la longueur des aubes $6^m,50$, la hauteur des aubes $0^m,97$, et le diamètre des roues à godets $5^m,36$. La roue à aubes avait été placée en un point fixe où la vitesse du courant était de $0^m,81$, et la roue à godets a été successivement portée sur les emplacements des diverses piles jusqu'à une distance de 35 mètres. La capacité de chacun des seize godets montés sur la roue était de 137 litres ; mais la quantité d'eau qui arrivait au point de versement n'était que de 103 litres. La quantité d'eau élevée à $3^m,25$ et $3^m,90$ de hauteur était de 185 mètres cubes par heure ; c'est le même effet utile que celui fourni par douze chapelets verticaux employés au même pont.

218. *Tympan.* La machine de ce nom employée par les anciens était simplement un tambour en bois divisé en huit ou en un plus grand nombre de compartiments par des cloisons dirigées suivant le rayon. Chaque compartiment portait, sur le contour du tambour, une ouverture qui permettait à l'eau d'entrer dans le compartiment quand cette ouverture était noyée. Comme cette ouverture était placée sur la partie de la paroi convexe du tambour qui sortait la première de l'eau, une certaine quantité d'eau se trouvait emprisonnée, et le tambour en tournant l'élevait jusqu'à la hauteur de son axe. Des rainures pratiquées suivant la longueur de l'axe et se prolongeant dans un des fonds du tambour formaient des canaux qui permettaient à l'eau de sortir.

Lafaye, au commencement du siècle dernier, a imaginé de courber les cloisons suivant les développantes du cercle extérieur de l'axe (*Int.*, 1144), ce qui a permis de supprimer l'enveloppe convexe du

tambour. Par cette disposition, la verticale passant par le centre de gravité de la masse d'eau contenue dans chaque canal courbe est tangente à l'axe, et, quelle que soit la position du tympan, le rayon de son axe est le bras de levier constant de la résistance; d'où il résulte que le travail est aussi régulier que possible. D'après des expériences de Perronet, un de ces tympans, ayant $5^{m},85$ de diamètre, portant 24 cloisons, plongeant de $0^{m},24$ dans l'eau et faisant deux tours et demi par minute, élevait 123 mètres cubes d'eau à $2^{m},60$ par heure. La machine était mue par douze hommes marchant sur une roue à chevilles montée sur son axe; d'où il résulte un effet utile équivalant à 26,67 mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre de hauteur par heure et par homme. Avec un chapelet vertical, manœuvré, il est vrai, à l'aide de manivelles (37), cet effet utile n'a été que de 17,40 mètres cubes. Cette machine, qui peut aussi être mue par une roue hydraulique, a l'inconvénient de n'élever l'eau qu'à la hauteur de son axe; ce qui oblige de lui donner des dimensions qui la rendent lourde et embarrassante.

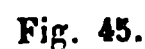
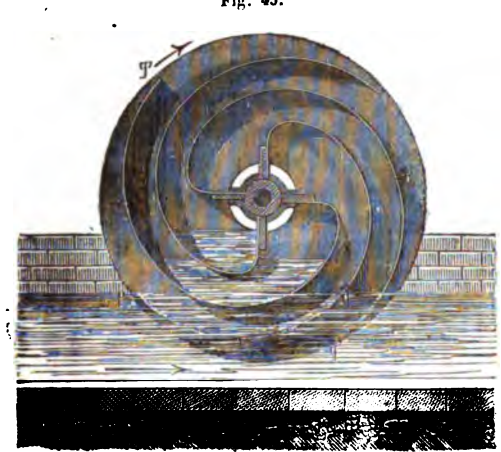


Fig. 45.



Dans ces derniers temps, M. Cavé a construit plusieurs tympans de très-grandes dimensions, complétement en tôle de $3^{mm},5$ environ d'épaisseur rivée sur des cornières en fer, avec arbre en fer ou en fonte.

M. Cavé a fait des tympans à 4 cloisons courbées en spirale d'Archimède; mais les derniers sont à 2 cloisons, et les spires se rapprochent du centre plus rapidement que dans la spirale, assez pour que la surface de l'eau qui y est emprisonnée reste constamment tangente à la spire supérieure. Un de ces tympans à deux spires, fonctionnant dans de bonnes conditions, avait les proportions suivantes :

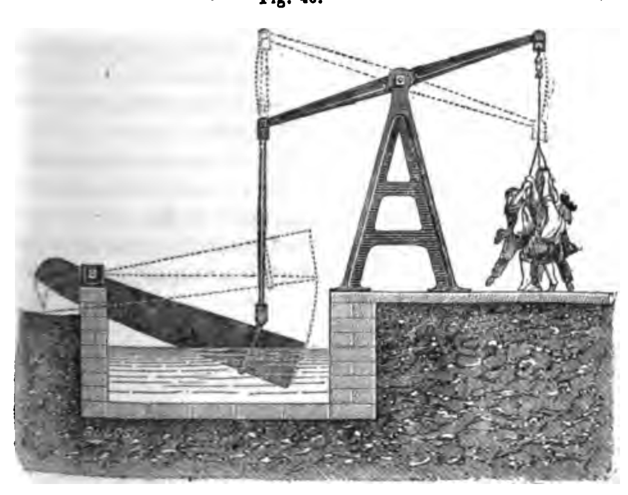
Plus grand rayon.	$3^{m},50$
Largeur intérieure.	$1^{m},00$
Plus courte distance de l'extrémité de chaque spire à la spire voisine.	$0^{m},75$
Diamètre des ouvertures laissant sortir l'eau.	$1^{m},00$
Profondeur à laquelle la roue plonge..	$1^{m},00$

Nombre de révolutions de chaque spire.	2 ,00
Mètres cubes d'eau puisés par chaque spire pour un tour. . .	2 ,00
Nombre de tours par minute.	10 ,00
Mètres cubes d'eau élevés par heure.	2400 ,00
Hauteur à laquelle l'eau est élevée, environ.	2^m,00

Pour un débit aussi considérable, on fait verser l'eau par les deux ues du tympan, lequel, au lieu de plonger de 1 mètre, plonge sou- :nt de 1^m,20 à 1^m,30, ce qui augmente considérablement le volume eau élevé. Ainsi, d'après M. Cavé, le tympan faisant de 10 à 12 révo- tions par minute, ce volume aurait été de 3333 mètres cubes par ure, à la hauteur de 2 mètres environ, pour une puissance moyenne : 30 chevaux.

219. *Baquetage à bras.* Des épuisements de peu de durée, et qui doi- ent être faits de suite, s'exécutent quelquefois à l'aide de seaux ou aquets manœuvrés par des hommes placés dans le bassin à mettre à ec. D'après Perronet, un homme n'élève que 68 litres d'eau à 1 mètre e hauteur par minute, et moitié seulement si la hauteur d'élévation t de 1^m,80; ce qui donne, pour un travail journalier de huit heures, n effet utile moyen de 31 000^{km}. M. Morin donne 46 000^{km} quand homme travaille avec un seau léger, 48 000^{km} s'il travaille avec une :ope ordinaire, et 120 000^{km} si c'est avec une écope hollandaise. omme on le voit, l'écope hollandaise, fig. 46, est une machine très- antageuse, mais que l'on ne peut employer que pour élever de ands volumes d'eau à de petites hauteurs.

Fig. 46.



220. *Seau à bascule.* Lorsqu'on n'a à élever, dit M. d'Aubuisson,

qu'une petite quantité d'eau de 5 à 6 mètres de profondeur, pendant une ou deux heures de la journée, on emploie avec avantage un seau suspendu à une des extrémités d'un grand balancier en bois, à l'autre extrémité duquel on place un poids faisant équilibre à la charge. De cette manière, un homme, selon l'habitude qu'il a de ce genre de travail, produit un effet équivalant à 12 ou 15 et même 20 mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre de hauteur par heure. M. Morin donne seulement, par homme, pour un travail journalier de huit heures, 60 000^{km} quand le puits a de 2 à 3 mètres de profondeur, et 70 000^{km} si cette profondeur est de 4 à 5 mètres.

221. *Seau manœuvré à l'aide d'un treuil.* Lorque la profondeur du puits est considérable, on fait usage d'une corde, à chacune des extrémités de laquelle est fixé un seau, et s'enroulant sur le treuil dont il a été parlé au n° 124. M. d'Aubuisson, d'après ses observations et les résultats donnés par Coulomb, admet que, le treuil étant manœuvré par des hommes agissant sur des manivelles, chaque homme produit, dans un travail journalier de huit heures, un effet utile de 160 000^{km}.

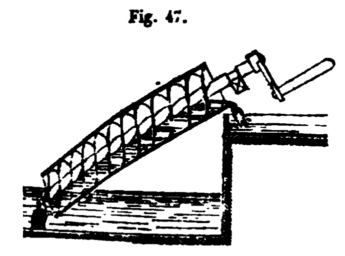
Lorsque la corde passe seulement sur une poulie, et qu'elle est directement tirée à main d'homme, d'après Coulomb, l'effet utile journalier n'est que de 71 000^{km}.

222. *Manége du maraîcher.* Cette machine, qui a la plus grande analogie avec la précédente, se compose d'un tambour, fait généralement avec deux vieilles roues de voiture, sur le pourtour desquelles on a fixé des douves de tonneau allant de l'une à l'autre sans être parallèles à l'axe; ce qui leur donne une espèce d'hyperboloïde de révolution, qui empêche la corde de s'échapper, tout en donnant un treuil régulateur (124). Ce tambour est monté sur l'arbre vertical d'un manége, que l'on maintient par une charpente qui sert en même temps à fixer sur le puits deux poulies sur lesquelles viennent passer les deux brins de la corde (128 et 129).

Hachette rapporte, dans son traité des machines, qu'avec un manége de maraîcher, établi sur un puits de 32^m,50 de profondeur, un cheval élevait par minute un seau contenant 90 litres d'eau, d'où il résulte que pour huit heures de travail l'effet utile serait de 1 404 000^{km}; mais si la durée du travail était de huit heures par jour, cet effet utile serait diminué (37).

225. *Vis d'Archimède.* Dans les vis ordinaires employées aux épuisements, on place trois hélices sur le même noyau (*Int.*, 1167). Le diamètre extérieur des hélices est égal à trois fois celui du noyau, et il varie entre 0m,325 et 0m,65. La longueur de la vis varie entre douze et dix-huit fois le diamètre extérieur des hélices, selon que ce diamètre est plus ou moins fort.

Fig. 47.



Les constructeurs de Paris font ordinairement égal à 60° l'angle de la tangente à l'hélice tracée sur le noyau avec la génératrice de ce noyau; les anciens Romains le faisaient de 45°; à Toulouse, on l'a pris de 54° environ, et Eytelwein l'a fait de 78° dans une petite vis de construction soignée, destinée à faire des expériences.

L'inclinaison de l'axe de la vis avec l'horizon peut varier de 30° à 45°, et la vis fonctionne le plus avantageusement lorque le niveau de l'eau s'élève un peu au-dessus du centre de la base du noyau, sans submerger complétement cette base.

Résultats obtenus par M. Lamandé, avec une vis d'Archimède ayant les dimensions suivantes :

Longueur de la vis.	5m,85
Diamètre extérieur.	0m,49
Inclinaison de la vis à l'horizon.	35°
Nombre de tours de la vis par minute.	40
Hauteur à laquelle l'eau était élevée.	3m,30
Quantité d'eau élevée à 3m,30 par heure.	45m.c.

Comme la vis était manœuvrée par deux compagnies de chacune neuf hommes, travaillant par relais de deux heures, l'effet produit était donc équivalent à 16m.c,50 d'eau élevés à 1 mètre de hauteur par heure et par homme. Comme la durée du travail journalier n'était que de cinq heures, on voit que l'effet utile journalier était très-faible.

On peut admettre qu'un ouvrier manœuvrant une vis d'Archimède bien disposée, peut produire un effet utile équivalant à 15 mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre de hauteur par heure, et travailler six heures par jour; il peut même travailler huit heures sur vingt-quatre si l'épuisement est continu et les relais bien disposés.

En Hollande et en Allemagne, on remplace souvent le canon, c'est-à-dire l'enveloppe extérieure des hélices, par un coursier demi-circulaire fixe. Par cette disposition, le poids du canon et celui de l'eau qui se trouve dans la vis ne reposent plus sur les pivots, et ne tendent pas à produire directement la flexion du noyau ; mais il faut marcher avec une grande vitesse, pour que la perte d'eau entre les hélices et

le coursier ne soit pas considérable. Ces machines sont presque toujours mues par des moulins à vent.

224. ***Résultats obtenus avec des machines d'épuisement****, selon qu'elles sont mues à bras ou par des locomobiles.* Les résultats suivants ont été obtenus en 1851 par MM. Morandière et Compaing, sur les chantiers du chemin de fer de Tours à Bordeaux (*Annales des ponts et chaussées*, 1857). La machine employée était d'une force nominale de 7 chevaux, à haute pression, sans condensation. Sa forme était celle d'une petite locomotive; la chaudière était à 24 tubes un peu plus gros que ceux des locomotives ordinaires; le cylindre était extérieur. Le volant que la bielle mettait en mouvement était disposé de manière à recevoir latéralement une poulie, d'un diamètre variable, pour l'application de la courroie qui doit transmettre les mouvements. Le poids de la machine était de 3500 kil., y compris l'attelage et les 4 roues en fonte sur lesquelles la machine était montée.

Les pompes employées étaient à 2 corps, de $0^m,25$ de diamètre; la course du piston était de $0^m,145$, et pour chaque corps de pompe, un coup de piston correspondait à deux tours de volant de la machine.

Les vis d'Archimède avaient $0^m,54$ de diamètre extérieur, et 6^m de longueur; elles faisaient également une révolution pour deux tours du volant.

PONT DE :	DATE du travail.	DURÉE du travail.	MACH. à épuiser.	EAU élevée.	HAUTEUR d'élévation réelle.	HAUTEUR d'élévation utile.	TOURS du volant par 1'.	COKE brûlé.	DÉPENSE totale.
		heures.		m. c.	m	m		k	fr.
l'Hermitage. .	Du 15 au 25 août. . .	192	3 pomp.	20 000	3.00	2.40	100	1920	384
la Chaussée . .	Du 12 au 30 sept. . .	288	3 pomp.	27 000	3.00	2.40	109	2900	500
Saint-Benoît. .	Du 29 oct. au 15 déc.	600	2 vis.	110 000	2.20	1.80	88	5800	629
Totaux.		1080		157 000				10620	1513

Ainsi, du 15 août au 15 décembre, la machine a travaillé 1080 heures; elle a consommé 10620 kil. de coke, ce qui fait environ 10 kil. par heure, et les dépenses totales pour le coke, le service et la conduite de la machine ont été par heure 2^f, $1^f,735$ et $1^f,05$, ce qui fait en moyenne $1^f,40$. Les différences de ces dépenses paraissent tenir à ce que, dans les premiers temps, le mécanicien ne connaissait pas encore suffisamment sa machine, à ce que les frais généraux ont pu ne pas être exactement distribués, enfin à ce que les épuisements du 3e chantier ont duré plus longtemps et marché beaucoup plus régulièrement.

TABLEAU des résultats que l'on peut espérer des divers modes d'épuisement, d'après M. Morandière.

MODES D'ÉPUISEMENT.	DURÉE du travail journalier d'un ouvrier.	EAU ÉLEVÉE A 1m par heure et par ouvrier.	EAU ÉLEVÉE A 1m par heure et par vis ou par pompe.	PRIX de la journée d'un ouvrier.	PRIX de l'heure de travail par vis ou par pompe.	DÉPENSE pour un mètre d'eau élevée à un mètre de haut. utile.	LIMITES des hauteurs ordinaires des épuisements.
1° *Vis d'Archimède.*							
	h.	m.c.	m.c.	f.	f.	f.	mètr.
Mues à bras	6	12.75	102.00	2.70	3.60	0.035	2 à 4
Mues par des chevaux.	»	»	85.50	»	0.75	0.009	*id.*
Mues par la vapeur. .	»	»	165.00	»	0.70	0.0043	*id.*
2° *Pompes.*							
Mues à bras.	6	9.00	54.00	2.70	2.70	0.050	1 à 8
Mues par des chevaux.	»	»	66.00	»	0.75	0.011	*id.*
Mues par la vapeur. .	»	»	79.00	»	0.47	0.006	*id.*
3° *Baquetage.*							
Écopes ordinaires. . .	8	6	»	2.00	0.25	0.042	0 à 1,2
Écopes hollandaises. .	8	15	»	2.00	0.25	0.017	*id.*
Seaux à mains. . . .	8	4	»	2.00	0.25	0.063	0 à 1,8
Seaux avec treuil et manivelle.	6	15	»	2.70	0.45	0.030	4 à 20

Ce tableau montre que pour des épuisements qui doivent avoir une certaine durée, l'emploi d'une machine à vapeur procure une économie d'environ moitié sur l'emploi des manéges à chevaux, et une économie de près de 0,9 sur le simple travail à bras. De plus encore, par suite de l'insuffisance du travail, la petite machine qui a fourni les résultats de ce tableau ne marchant qu'à 2,5 atmosphères au lieu de 5 atm. environ, on conçoit qu'il devait encore y avoir perte de force, la machine fonctionnant sans condensation.

Les avantages présentés par l'emploi d'une petite machine à vapeur locomobile sont : de procurer d'abord une grande économie, puis de débarrasser les chantiers des nombreux ateliers d'épuiseurs, qui y apportent souvent le trouble, de mettre une force considérable à la disposition des travaux, de diminuer le nombre des machines à épuiser, et de permettre de les resserrer dans un très-petit espace.

MOULINS A VENT.

223. *Moulins à vent.* La pression exercée par le vent contre une surface plane normale à la direction de son mouvement est, pour des vitesses inférieures à 10 mètres par seconde,

$$P = 0{,}11 ds^{1,1} v^2, \qquad (a)$$

ou à peu près

$$P = ds \times 2h.$$

P pression en kilogrammes;
d poids d'un mètre cube de l'air en mouvement;
s surface de la plaque en mètres carrés;
v vitesse du vent en mètres par seconde, ou vitesse relative de choc de l'air contre le disque si l'un et l'autre sont en mouvement (*Int.*, 1356);
$h = \frac{v^2}{2g}$ hauteur génératrice de la vitesse v (19).

La première valeur de P fait voir que la pression croît dans un rapport plus grand que la surface choquée. D'après Borda, trois plaques, dont les surfaces étaient entre elles comme les nombres 1, 2.25 et 5,06, ont donné des expressions qui étaient entre elles comme les nombres 1, 2,44 et 5,97; valeurs qui croissent à peu près comme les puissances 1,1 des surfaces (*Int.*, 483 et 485).

Lorsque le vent frappe une surface suivant un certain angle, la pression qu'il exerce sur cette surface, dans la direction de son mouvement, est, d'après Hutton,

$$0{,}11 ds^{1,1} v^2 (\sin i)^{1,84 \cos i}. \qquad (b)$$

i angle qui fait la direction du vent avec la surface.
Les autres lettres ont les mêmes significations que dans le cas précédent.

Si l'angle i est droit, on a $\cos i = 0$, $\sin i = 1$, d'où $(\sin i)^{1,84 \cos i} = 1$, et la formule ($b$) n'est plus autre chose que la formule a); ce qui devait être.

TABLEAU des pressions exercées par le vent à différentes vitesses contre une surface d'un mètre carré, choquée directement, d'après la formule (*a*).

DÉSIGNATION DES VENTS.	VITESSE par seconde.	PRESSION par mètre carré.
	m	k.
Vent à peine sensible	1.00	0.14
Brise légère	2.00	0.54
Vent frais ou brise	4.00	2.17
Vent bon frais — tend bien les voiles	6.00	4.87
Vent bon frais — le plus convenable aux moulins	7.00	6.64
Vent bon frais — forte brise	8.00	8.67
Vent bon frais — convenable pour la marche en mer	9.00	10.97
Vent grand frais — très-forte brise	10.00	13.54
Vent grand frais — fait serrer les hautes voiles	12.00	19.50
Vent très-fort	15.00	30.47
Vent impétueux	20.00	54.16
Tempête	24.00	78.00
Tempête violente	30.05	122.28
Ouragan	36.15	176.96
Grand ouragan	45.30	277.87

Les résultats de ce tableau supposent la pression barométrique ale $0^m,755$ de mercure, et la température égale à 12°; ce qui donne $= 1^k,231$. Quand $s = 1$, on a aussi $s^{1,1} = 1$.

Un vent dont la vitesse est inférieure à 4 mètres par seconde n'est as suffisant pour qu'un moulin à vent puisse moudre le blé, et si la itesse dépasse 8 mètres, on est obligé de commencer à serrer les oiles.

D'après Smeaton, un moulin à vent donne le maximum d'effet uand ses ailes sont des surfaces gauches dont les génératrices, siées aux points obtenus en divisant la longueur de l'aile en 6 par-s égales, font avec l'axe de la roue ou la direction du vent les an-es désignés dans le tableau suivant. (La génératrice n° 1 est celle ui se trouve au point de division le plus rapproché de l'axe; c'est n ce point que commence la voilure.)

NUMÉROS des génératrices.	ANGLES avec l'axe.	ANGLES avec le plan du mouvement des ailes.	OBSERVATION.
1	72°00	18°00	Les angles de la seconde et de la troisième colonne sont complémentaires.
2	71 00	19 00	
3 milieu de l'aile	72 00	18 00	
4	74 00	16 00	
5	77 50	12 50	
6	83 00	7 00	

Une différence de quelques degrés avec les valeurs du tableau est ns influence sur l'effet produit.

La largeur de l'aile est ordinairement comprise entre le 1/5 et le 1/6 la longueur, et elle n'en doit jamais dépasser le 1/4.

L'aile, au lieu d'être rectangulaire, a quelquefois la forme d'un apèze, dont le côté parallèle situé à l'extrémité de l'aile est égal 1/3 de la longueur de l'aile et à 1,66 fois le côté parallèle intéeur; le côté parallèle extérieur est divisé par l'axe de l'aile en deux rties qui sont dans le rapport 5 : 3. L'un des grands côtés du trae est parallèle au bras de l'aile. Il convient du reste de disposer s divers éléments de l'aile trapézoïdale en surface gauche, comme our l'aile rectangulaire.

D'après Smeaton, les ailes d'un moulin à vent étant bien airées, sque'lles marchent sans charge, la vitesse de leur extrémité est ale à 4 fois celle du vent, et cette vitesse doit être égale à 2,5 ou 7 fois celle du vent pour que le moulin rende le maximum d'effet. Smeaton conclut aussi de ses expériences que les charges sont à u près proportionnelles aux carrés des vitesses du vent; ainsi les tesses étant dans le rapport de 1 à 2, les charges ont crû dans celui

de 1 à 3,75. De là, il résulte que les effets produits sont à peu près dans le rapport des cubes des vitesses du vent; c'est aussi ce que confirment les expériences de Smeaton, dans lesquelles les vitesses étant dans le rapport de 1 à 2, les effets ont été dans celui de 1 à 7,5.

L'effet dynamique en kilogrammètres par seconde d'un moulin à vent est assez bien représenté par l'expression

$$nSV^3.$$

n coefficient qui est égal à 0,05 d'après des expériences rapportées par Smeaton, où l'on avait $S = 0^{m.c.},2607$; des expériences faites par Coulomb, sur un grand moulin à vent construit aux environs de Lille, ont donné $n = 0,1$. Dans les cas ordinaires de la pratique, il conviendra d'adopter cette dernière valeur de n, en ne considérant toutefois les résultats fournis par la formule que comme des approximations ;

S surface des quatre ailes en mètres carrés ;

V vitesse du vent en mètres par seconde.

L'expression de l'effet utile rendu par un moulin à vent est la même que pour celui rendu par une roue pendante (202); la différence n'existe que dans la valeur du coefficient numérique.

Dimensions des parties principales d'un moulin à vent :

Équarrissage de l'arbre.	$0^m,50$ à $0^m,60$
Inclinaison de l'arbre à l'horizon.	10° à 15°
Longueur des ailes, mesurée depuis l'axe de rotation. . .	10 à 12 mètres
Équarrissage des axes des ailes près de l'arbre.	$0^m,30$
Espacement des petits barreaux implantés dans l'axe de l'aile et sur lesquels on étend les voiles.	$0^m,40$
Surface ordinaire de chaque aile.	20 mètres carrés

Dans plusieurs localités, on rencontre des moulins à vent de 2, 3 et même 4 paires de meules pour moudre le blé, avec tous les appareils de nettoyage et de blutage.

M. Herpin a fait établir dans le département de l'Indre un moulin à vent de trois paires de meules de différents diamètres, et disposé pour faire fonctionner une scie circulaire et une huilerie, et à côté, sous un hangar, une machine à battre.

M. Herpin a fait remplacer la voilure ordinaire, qui était difficile à manœuvrer, par la voilure en planches mobiles du système Berton.

Hauteur du centre de rotation des ailes au-dessus du sol. . . .	$14^m,80$
Diamètre au bas de la tour, qui est octogonale et formée par 8 poteaux en bois de 12^m de hauteur reposant sur des dés en pierre de 1^m de hauteur.	$8^m,00$
Diamètre de la tour, au sommet des poteaux.	$5^m,50$
Distance du centre de rotation à l'extrémité des ailes.	$10^m,00$
Longueur des planches formant voilures.	$8^m,00$

Chaque voilure est composée de 11 planches en sapin de $0^m,01$ d'épaisseur, $0^m,25$ la largeur, et 8^m de longueur, qui peuvent se rapp

r plus ou moins, à la manière des deux branches de la règle parallèle du dessinateur, de manière à former un parallélogramme plus moins large. Les ailes sont planes et ont une largeur qui peut varier de 2m à 2m,50. Le plan des ailes fait un angle d'environ 18° avec plan du mouvement. Les meules et accessoires marchent le plus convenablement quand la volée, ayant toute sa voilure, fait 11 à tours par minute, ce qui correspond à une vitesse d'environ 5 à mètres par seconde pour le vent.

La construction de ce moulin est revenue à 19 600 fr.

M. Herpin estime que l'on peut moudre et bluter au moins 2500 hectolitres de blé par année; mais, exploité pour son compte par des gens qui prennent plus ou moins ses intérêts, le produit n'a guère passé 2000 hectolitres.

100 kilogrammes de blé froment de deuxième qualité, pesant 72 kilogrammes l'hectolitre, ont donné, dans une expérience faite par M. Herpin :

Farine plus ou moins blanche.	72k,600
Farine bise.	6 ,800
Recoupes.	4 ,200
Sons.	15 ,700
Déchet.	0 ,700
Total.	100 ,000

296. *Travail d'un moulin à vent appliqué à une huilerie ou employé à la mouture du blé, et travail des moulins à blé ordinaires.* Les expériences de Coulomb, citées au numéro précédent, ont été faites sur un moulin à vent faisant marcher les pilons d'une huilerie. Les cames sont montées sur l'arbre du moulin; elles communiquent directement le mouvement à 5 pilons pesant chacun 510 kilogrammes destinés à broyer la graine de colza, et à deux autres pesant chacun 0 kilog. destinés à serrer et desserrer les coins qui séparent, par compression, l'huile de la gangue. Il n'y a jamais qu'un de ces derniers pilons qui marche à la fois; mais les 5 autres fonctionnent simultanément quand le vent le permet. L'élévation verticale des pilons est de 0m,49, et chacun de ceux mis en mouvement s'élève deux fois par tour du moulin.

TABLEAU des résultats fournis par trois expériences de Coulomb.

VITESSE DU VENT par seconde.	NOMBRE DE TOURS par 1'.	POIDS ÉLEVÉ A 0m.49 par tour.	EFFET UTILE par 1'.
m.		k.	k.m.
2.27	3	4020	1499
4.06	7,5	2540	9334
6.50	13	5600	35672

A la vitesse de $6^m,50$, on marche avec toutes les voiles sans que la machine se fatigue; mais passé cette limite, on commence à carguer les voiles.

L'effet utile en chevaux-vapeur transmis par l'arbre du moulin dans la troisième expérience est, en négligeant les frottements et les chocs des pilons (96), $\frac{35672}{4500} = 7,9$ chevaux. La surface utile de chaque aile ayant 10 mètres de longueur sur $1^m,95$ de largeur, ce qui fait 78 mètres carrés pour les 4 ailes, la surface de voilure est donc de 10 mètres carrés environ par force de cheval. Dans la deuxième expérience, cette surface était de 40 mètres carrés environ.

Un relevé du travail de plusieurs années a fait voir que chaque moulin fabrique moyennement 40 000 kilogr. d'huile par an. Le travail transmis aux pilons par 100 kilogr. d'huile fabriqués étant de 14 000 à 15 000 grandes unités dynamiques (34), en admettant avec Coulomb que les frottements et les chocs des pilons absorbent le 1/6 environ du travail transmis à ces pilons, il en résulte que la fabrication seule de 100 kilog. d'huile exige moyennement 12 000 grandes unités dynamiques. M. Morin rapporte que les meules d'un moulin à huile pesant 3000 kilog., l'arbre vertical faisait 6 tours par minute. le poids de graine chargé à chaque rechange de 10′ était de 25 kilog.. le poids de la graine broyée en un jour était de 1500 kilog., et la quantité d'huile fabriquée en 12 heures, 600 kilog. Le travail transmis par l'arbre moteur étant de 205 kilogrammètres par seconde, il en résulte que, par ce procédé, la fabrication de 100 kilog. d'huile n'absorbe que 1476 grandes unités dynamiques, c'est-à-dire le 1/10 environ de celui absorbé par l'emploi des pilons.

D'après Coulomb, on peut admettre que le travail annuel d'un moulin à vent n'est que le 1/3 environ de celui qu'il produirait en marchant d'une manière continue dans les conditions les plus favorables, c'est-à-dire sous l'action d'un vent de $6^m,50$ à 7 mètres de vitesse par seconde.

Coulomb ayant soumis à l'expérience un moulin à blé dont la meule faisait 5 tours pour une révolution des ailes, il a reconnu que le mouvement ne commençait à avoir lieu que quand la vitesse du vent atteignait 4 mètres, et que cette vitesse ayant atteint $5^m,80$, les ailes faisaient de 11 à 12 tours par minute, et la quantité de blé moulu sans être bluté était de 400 à 450 kilog. à l'heure.

Hachette rapporte que dans un moulin de Corbeil, mû par une roue à aubes transmettant 1321 grandes unités dynamiques par heure, la meule ayant 2 mètres de diamètre, et faisant 67 révolutions par minute, la quantité de farine brute (son et farine mélangés) produite a été de 200 kil. en une heure 15 minutes. Ce résultat prouve que Coulomb a dû se tromper dans l'évaluation du blé mou

r un moulin à vent. Des résultats de Hachette, il résulte que la outure à la grosse de 100 kilog. de blé absorbe 825 grandes unités namiques.

M. d'Aubuisson conclut, des résultats obtenus par différents obrvateurs, que la force que doit transmettre l'arbre d'une roue hyaulique commandant un moulin est au moins de 3 chevaux par ctolitre de blé de 75 kilog. à moudre par heure; c'est 1080 grandes nités dynamiques par 100 kilog. de blé.

Les meules le plus généralement adoptées aujourd'hui en France, ns les moulins à l'anglaise, ont 1m,30 de diamètre et 0m,27 d'épaisur; elles sont percées à leur centre d'un trou de 0m,27 à 0m,33 de amètre, appelé *œillard*. La profondeur des rayons n'est pas de plus 5 à 6 millimètres; ils sont formés en plan incliné, afin de prénter d'un côté une arête tranchante qui coupe les grains de blé, our en faciliter le broiement complet. On a généralement reconnu u'une vitesse de 110 à 120 révolutions par minute était convenable our des meules de 1m,30; au-dessus, on a à craindre l'échauffement la farine.

Dans les usines bien organisées des environs de Paris, rapportent M. Cartier et Armengaud, les meules de 1m,30 de diamètre, faisant 5 à 120 révolutions par minute, ne moulent en moyenne que 15 à hectolitres de blé en 24 heures, en produisant, il est vrai, de 60 à pour 100 de cette farine première si recherchée par la boulange- parisienne. La force nécessaire par paire de meules dans ces conlions, y compris nettoyage et blutage, est de deux chevaux et demi produit est moyennement de 20 à 22 kilog. par force de cheval par heure). Ainsi, pour une puissance effective de 15 chevaux, on ablira 6 paires de meules, y compris celle qui peut être en rhabilge, et cette opération s'effectuant à peu près régulièrement tous s 5, 6 ou 7 jours au plus, sur les 6 paires, il y en aura donc presque nstamment une d'arrêtée. Un bon meunier s'arrange du reste pour le cette opération soit bien et promptement exécutée, et autant que ssible pendant le jour.

Dans un grand nombre de localités, comme Lyon et Dijon, on raproche moins les meules qu'à Paris; elles produisent plus de rondes de secondes que de premières; on leur fait alors moudre 24 à hectolitres de blé en 24 heures, et même plus, et chaque paire de eules absorbe la force de 3 chevaux (le produit est de 25 à 26 kiloammes par force de cheval et par heure).

Pour les manutentions militaires, les meules travaillant encore oins rapprochées, et le nettoyage et le blutage étant moins parts, chaque paire moud de 30 à 32 hectolitres en 24 heures et exige le puissance effective de 3 chevaux et demi (le produit correspond 28 ou 30 kilog. par force de cheval et par heure).

Dans les moulins des États-Unis d'Amérique, les meules ont géné
lement 1m,50 de diamètre, font 100 tours par minute, et, d'après observations d'Évans, la quantité de blé moulue est de 1,76 hectoli par heure, et la force du moteur de 2 chevaux par hectolitre.

Dans un moulin à l'anglaise des environs de Paris, le relevé d' mouture de 3520 setiers de blé pesant ensemble 417 452 kilog. a don les résultats suivants :

Farines, 1re et 2e qualité.	0,720
Id. 3 et 4e.	0,023
Criblures.	0,007
Issues diverses.	0,215
Déchets, évaporations, balayures.	0,035
Total.	1,000

Aujourd'hui, les constructeurs livrent le mécanisme d'un mo tout posé, avec la roue hydraulique, mais sans aucun frais de tra port, pour 5000 à 5500 fr. par paire de meules.

227. On distingue trois espèces de moutures :

1° *Mouture économique ou française*. C'est celle encore emplo dans les petites usines de nos campagnes. Les meules ont 2 mè de diamètre, et elles font de 55 à 60 tours par minute. Le blé est troduit dans l'ouverture de la meule supérieure au moyen d'une t mie constamment agitée. En sortant des meules, que l'on tient as espacées pour que le grain soit seulement concassé, la mouture séparée par le bluteau, en farine dite de blé, qui traverse le tissu, gruaux, qui traversent plus loin, et en son volumineux et léger. premiers gruaux sont de nouveau soumis à l'action des meules, l'on tient alors plus rapprochées, et ils fournissent une farine premier gruau et des seconds gruaux, qui donnent à leur tour farine de 2e gruau et des 3es gruaux. Enfin, ceux-ci produisent farines bises de 3e gruau, et un 4e gruau, qui produit une farine 4e gruau, et des issues, appelées remoulages ou recoupes, qui conti nent les parties dures et grisâtres avoisinant l'enveloppe des grai

Pour ces 5 opérations, 100 kilog. de blé donnent en moyenne résultats suivants :

Farines blanches.	1re opération : Farine dite de blé. . . .	38k,35	66k,
	2e *Id.* Farine dite de 1er gruau.	19,46	
	3e *Id.* Farine dite de 2e gruau.	8,51	
Farines bises. . .	4e *Id.* Farine dite de 3e gruau.	5,00	8,
	5e *Id.* Farine dite de 4e gruau.	3,33	
Issues.	Son gros et petit.	10,82	23,
	Recoupes.	6,80	
	Recoupettes.	5,70	
	Déchet, évaporation, perte.		1,
	Total..		100k

Les blés durs, demi-durs et tendres se traitent également bien cette méthode.

* *Mouture américaine, dite anglaise*. Elle consiste à écraser com-tement le blé dans un seul passage entre les meules, qui doivent e très-rapprochées, afin de produire le moins possible de gruau. son et les différentes qualités de farines sont séparés au moyen bluteries convenables. Les meules ont 1^m,30 de diamètre, et elles nt 120 tours à la minute.

Les blés qui conviennent le mieux à ce genre de mouture sont les rs et demi-durs.

Pour 100 kilogrammes de blé, on obtient en moyenne :

Farine à pain blanc	60
Id. demi-blanc	14
Son gros et menu	24
Déchet	2
Total	100

3° *Mouture à gruaux*. Elle produit les belles farines employées à ire les pains de luxe dans les grandes villes ; on ne l'applique avec antage qu'à des froments demi-durs et durs, à grains réguliers et lumineux.

Après avoir soumis le blé à un nettoyage énergique, on le fait pas-r entre des meules convenablement éloignées pour bien détacher corce du gruau, en produisant le moins possible de folle farine. a mouture est alors amenée dans un blutoir en étamine, qui sépare farine dite *petit-blanc* ou à *vermicelle;* puis le mélange de son et gruaux est versé dans une bluterie d'étoffe à mailles de plus en us larges, qui partage les gruaux en trois grosseurs; les moins os, dits *fins-finots*, fournissent la première qualité de farine. Quant x moyens et aux gros, ils sont traités séparément et débarrassés du n et de la folle farine qui peuvent encore y adhérer; ainsi purifiés, s deux gruaux, que l'on nomme semoule, sont de nouveau soumis la mouture, ce qui donne une farine que l'on réunit à la précé-nte pour former le n° 1, et de nouveaux gruaux. La farine obtenue s 3° et 4° gruaux forme le n° 2; celle qui provient de la 5° mouture t dite blanche. La 6° mouture fournit de la farine que l'on mêle ec la farine d'écorçage. La 7° mouture donne la farine bise.

Résultats moyens obtenus pour 100 kilog. de blé de bonne qualité :

Criblure ou petit blé	0^k,800
Farine dite à vermicelle	20 ,352
Id. des gruaux n° 1	20 ,352
Id. *id.* n° 2	6 ,360
Id. dite blanche	11 ,448
Id. *id.* bise	19 ,040
Son	6 ,000
Recoupe	6 ,400
Remoulage	7 ,599
Perte	1 ,649
Total	1 ',000

favorables à la dépense, et que l'angle de convergence ne dépasse pas 10 à 12°, il convient de faire $k = 0,94$.

Pour les buses, on devrait faire $k = 0,94$, valeur qui convient à leur angle de convergence ; mais, à cause de leur longueur et afin de n'être pas en défaut pour la dépense, on devra faire $k = 0,93$ dans le calcul de leur section.

Q étant la dépense effective en air comprimé, cette dépense ramenée à la pression atmosphérique sera

$$Q = Q' \frac{H+h}{H}.$$

Q volume d'air écoulé, ramené à la pression atmosphérique ;
H pression atmosphérique ;
h pression manométrique.

Les pressions H et h sont exprimées en hauteurs de même liquide, c'est ordinairement en mercure.

CONDUITES D'AIR.

229. *Conduites d'air.* (Nos 175 et suivants.) De même que l'eau, l'air exerce un frottement contre les parois des tuyaux dans lesquels il circule. Ce frottement diminue la force élastique depuis l'origine du tuyau jusqu'à la fin, et cette diminution, c'est-à-dire la perte de hauteur manométrique, a la même expression que pour l'eau ; ainsi, en négligeant le terme contenant la première puissance de la vitesse de l'air dans le tuyau, ce que l'on peut faire, d'après les expériences de Hutton, pour des vitesses comprises entre 3 et 100 mètres, on peut poser

$$H - h = n' \frac{Lv^2}{D}.$$

Formule que M. d'Aubuisson transforme en cette autre :

$$H - h = n \frac{hLd^4}{D^5}. \quad (1)$$

n' coefficient ;
v vitesse moyenne de l'air dans le tuyau ; elle n'est jamais supérieure à 50 mètres et rarement inférieure à 3 mètres ;
H hauteur indiquée par le manomètre placé à l'origine de la conduite ;
h hauteur indiquée par le manomètre placé à l'extrémité de la conduite ;
n coefficient qui est égal, d'après les expériences de M. d'Aubuisson sur des tuyaux en fer-blanc de $0^m,0235$ à $0^m,10$ de diamètre, à 0,0238 en moyenne ; cette valeur suppose que la buse ou l'ajutage placé à l'extrémité de la conduite donne lieu à un coefficient de dépense égal à 0,93, comme cela a lieu généralement (228) ;
L longueur de la conduite ;
d diamètre de la buse ou de l'ajutage par lequel l'air s'écoule ;
D diamètre de la conduite.

La dépense effective est toujours moindre que la dépense théorique; insi, on a

$$Q' = kq = ks\sqrt{2gh\frac{\delta}{\delta'}}.$$

' dépense effective en air comprimé;
coefficient de la dépense; sa valeur dépend de la forme de l'orifice d'écoulement. D'après les expériences de M. d'Aubuisson, sur des orifices en mince paroi de $0^m,01$ à $0^m,03$ de diamètre, $k=0,63$ pour les plus petits orifices, $k=0,673$ pour les plus grands, et $k=0,65$ en moyenne pour les orifices compris entre ces limites. Pour les mêmes orifices garnis d'ajutages cylindriques de diamètres égaux aux leurs, et d'une longueur de 4 centimètres pour ceux de $0^m,01$, et de $0^m,08$ pour ceux de $0^m,03$, k a été à peu près constant, et égal en moyenne à 0,926.

M. d'Aubuisson a voulu se rendre compte de l'influence de la longueur de l'ajutage sur la valeur de k, et, en opérant sur des tubes de $0^m,015$ de diamètre, il a obtenu les résultats suivants :

LONGUEUR de l'ajutage.	VALEUR DE k.	DÉPENSE EFFECTIVE par seconde.
m.		m. cub.
0.022	0.938	0.00728
0.045	0.924	0.00700
0.162	0.838	0.00628
0.325	0.738	0.00570

Pour des ajutages coniques dont le diamètre à la sortie était moitié de celui de l'entrée, et compris dans les limites de $0^m,01$ à $0^m,03$, les longueurs de ces ajutages étant de $0^m,04$ pour ceux de $0^m,01$ de diamètre à la sortie, et de $0^m,08$ pour ceux de $0^m,03$, la valeur de k a été à peu près constante et égale en moyenne à 0,93.

Pour les ajutages courts, peu convergents et de $0^m,015$ de diamètre à la sortie, M. d'Aubuisson a obtenu pour k les valeurs du tableau suivant :

ANGLE de convergence.	LONGUEUR de l'ajutage.	VALEUR MOYENNE de k.
	m	
6° 26′	0.045	0.938
18 54	*id.*	0.947
53 8	*id.*	0.798
11 24	0.025	0.947
28 4	0.010	0.880

Ce tableau fait voir que des ajutages courts et peu convergents sont

favorables à la dépense, et que l'angle de convergence ne dépassant pas 10 à 12°, il convient de faire $k = 0{,}94$.

Pour les buses, on devrait faire $k = 0{,}94$, valeur qui convient à leur angle de convergence ; mais, à cause de leur longueur et afin de n'être pas en défaut pour la dépense, on devra faire $k = 0{,}93$ dans le calcul de leur section.

Q étant la dépense effective en air comprimé, cette dépense ramenée à la pression atmosphérique sera

$$Q = Q' \frac{H+h}{H}.$$

Q volume d'air écoulé, ramené à la pression atmosphérique ;
H pression atmosphérique ;
h pression manométrique.

Les pressions H et h sont exprimées en hauteurs de même liquide, c'est ordinairement en mercure.

CONDUITES D'AIR.

229. *Conduites d'air.* (Nos 175 et suivants.) De même que l'eau, l'air exerce un frottement contre les parois des tuyaux dans lesquels il circule. Ce frottement diminue la force élastique depuis l'origine du tuyau jusqu'à la fin, et cette diminution, c'est-à-dire la perte de hauteur manométrique, a la même expression que pour l'eau ; ainsi, en négligeant le terme contenant la première puissance de la vitesse de l'air dans le tuyau, ce que l'on peut faire, d'après les expériences de Hutton, pour des vitesses comprises entre 3 et 100 mètres, on peut poser

$$H - h = n' \frac{Lv^2}{D}.$$

Formule que M. d'Aubuisson transforme en cette autre :

$$H - h = n \frac{hLd^4}{D^5}. \qquad (1)$$

n' coefficient ;
v vitesse moyenne de l'air dans le tuyau ; elle n'est jamais supérieure à 50 mètres et rarement inférieure à 3 mètres ;
H hauteur indiquée par le manomètre placé à l'origine de la conduite ;
h hauteur indiquée par le manomètre placé à l'extrémité de la conduite ;
n coefficient qui est égal, d'après les expériences de M. d'Aubuisson sur des tuyaux en fer-blanc de $0^m{,}0235$ à $0^m{,}10$ de diamètre, à 0,0238 en moyenne ; cette valeur suppose que la buse ou l'ajutage placé à l'extrémité de la conduite donne lieu à un coefficient de dépense égal à 0,93, comme cela a lieu généralement (228) ;
L longueur de la conduite ;
d diamètre de la buse ou de l'ajutage par lequel l'air s'écoule ;
D diamètre de la conduite.

De la formule précédente on tire

$$H = h\left(1 + \frac{nLd^4}{D^5}\right).$$

pression que doit indiquer le manomètre placé à l'origine de la conduite pour que l'air s'échappe par la buse avec une vitesse due à la hauteur h exprimée en air comprimé, c'est-à-dire à la hauteur $h' = h\frac{\delta}{\delta'}$ (2[illegible]). Cette vitesse n'est pas inférieure à 80 mètres par seconde pour les hauts fourneaux marchant au charbon de bois, et à 150 mètres pour ceux marchant au coke.

M. d'Aubuisson a aussi donné l'expression de la dépense d'une conduite ; elle est

$$Q = 1870\sqrt{\frac{1 + 0.004t}{b + h}}\sqrt{\frac{HD^5}{L + 42\frac{D^5}{d^4}}}$$

Q volume d'air, à $t°$ et sous la pression $b + h$, écoulé par seconde ;
b pression atmosphérique ;
0,004 coefficient de dilatation du gaz (228).

Si la conduite est entièrement ouverte à l'extrémité, on a $d = D$, et en faisant égal à 1 le coefficient de la dépense 0,93 dans le facteur 1870, la formule précédente devient

$$Q = 2011\sqrt{\frac{1 + 0.004t}{b+h}}\sqrt{\frac{HD^5}{L + 42D}}.$$

Des expériences faites par M. Girard sur une conduite de 0m,01579 de diamètre, formée de canons de fusil adaptés bout à bout, ont donné

$$Q = 1989\sqrt{\frac{1 + 0.004t}{b + h}}\sqrt{\frac{HD^5}{L + 42D}}.$$

Comme, dans ces cas d'écoulement à l'air libre, on peut supposer $h = 0$, et par suite $b + h = 0^m,76$, on a, en faisant $t = 12°$, température moyenne de la France,

$$Q = 2336\sqrt{\frac{HD^5}{L + 42D}}.$$

Pour l'eau, M. d'Aubuisson donne pour l'expression de la dépense Q', dans les grandes vitesses,

$$Q' = 76,45\sqrt{\frac{HD^5}{L+36D}}.$$

On a donc à peu près

$$Q' : Q = 76,45 : 2336 = 1 : 30,55.$$

C'est-à-dire que, sous une même charge, une même conduite dépense, en volume, 30,55 fois plus d'air que d'eau.

Pour un autre gaz quelconque, les dépenses Q seront obtenues en divisant les valeurs précédentes données pour l'air par $\sqrt{\delta''}$, δ'' étant la densité du gaz qui s'écoule par rapport à celle de l'air ; ainsi, pour le gaz de l'éclairage ce sera par $\sqrt{0,559}$.

La résistance des coudes brusques est sensiblement proportionnelle au carré de la vitesse du fluide et au carré du sinus de l'angle du coude. D'après M. d'Aubuisson, sept coudes à 45° diminuent la dépense de 1/4. Dans la pratique, on atténuera le mauvais effet des coudes en arrondissant bien ceux qu'on ne pourra éviter. D'après les expériences de M. Péclet, la perte de charge due aux coudes brusques est $np \sin^2 i$. Formule dans laquelle p est la charge qui correspond à la vitesse, i l'angle compris entre 20° et 90°, que forme le 2ᵉ tuyau avec le prolongement du 1ᵉʳ, et n le nombre des coudes.

Pour les coudes arrondis, cette perte est $np\,\frac{i}{180}$, i désignant dans ce cas le nombre de degrés de l'axe du coude.

MACHINES SOUFFLANTES.

230. *Machines soufflantes.* Pour les machines soufflantes à cylindre en fonte, le rapport du volume d'air expulsé au volume engendré par le piston est égal à 0,75, et pour les machines à caisse carrée en bois, ce rapport est égal à 0,55 seulement.

Désignant par Q le volume effectif d'air, à 0° et sous la pression 0m,76, que doit fournir la machine en une minute, on calcule le diamètre et la course du piston pour fournir un volume

$$Q(1 + at).$$

a coefficient de dilatation de l'air, qu'on suppose égal à 0.004 (228);
t température de l'air ; en France on fait $t = 20°$.

Le volume engendré par un piston cylindrique et par un piston carré est respectivement en une minute (*Int.*, 842, 859)

$$\frac{1}{4}\pi D^2 ln, \quad \text{et} \quad C^2 ln.$$

D diamètre du piston cylindrique ;
l course du piston ;
n nombre de coups de piston par minute ;
C côté du piston carré.

On aura donc pour les deux genres de machines

$$Q(1 + 0{,}004t) = 0.75\,\frac{1}{4}\pi D^2 ln, \quad \text{et} \quad Q(1 + 0.004t) = 0.55 C^2 ln.$$

aisant $t = 20°$, on conclut

$$D^2 = 1.834 \frac{Q}{ln}, \quad \text{et} \quad C^2 = 1.964 \frac{Q}{ln}.$$

Pour les machines à cylindre, la vitesse du piston varie de $0^m,50$ à 1 mètre par seconde, et on fait ordinairement $l = D$.

Désignant par v la vitesse du piston, on a $nl = 60v$, et par suite,

$$D^2 = 1.834 \frac{Q}{60v} = 0,031 \frac{Q}{v}.$$

Pour les machines à cylindre, la section des soupapes d'aspiration varie de 1/15 à 1/12 de la section du cylindre soufflant pour des vitesses de piston comprises entre $0^m,50$ et $0^m,75$, et de 1/10 à 1/9 pour les vitesses comprises entre $0^m,75$ et 1 mètre. Il ne convient pas que la vitesse dépasse $0^m,60$.

Pour les machines à caisse carrée, la vitesse du piston varie de $0^m,25$ à $0^m,30$ par seconde, et la section des soupapes d'aspiration est comprise entre le 1/15 et le 1/20 de celle de la caisse.

Pour les machines à cylindre, comme pour celles à caisse, la section des soupapes d'expiration varie de 1/15 à 1/20 ou 1/22 de celle du cylindre ou de la caisse.

Les tuyaux de conduite ont une section à peu près égale à celle des soupapes d'expiration. Dans la pratique, la vitesse de l'air y est ordinairement réglée à 20 mètres par seconde.

Les pistons des caisses en bois sont mis en mouvement par des cames, et leur course n'excède pas $0^m,65$.

Le diamètre de la tige du piston varie de 1/20 à 1/17 de celui du cylindre.

La pression de l'air dans le cylindre doit être suffisante pour soulever la soupape, vaincre le frottement dans le tuyau qui conduit l'air du cylindre au régulateur, celui qui peut avoir lieu dans le régulateur, ainsi que celui qui a lieu dans le tuyau qui amène l'air du régulateur à la buse, et produire une vitesse d'écoulement convenable par la buse. D'après ce qui a été dit n° 229, on pourra calculer les différentes pertes de force élastique dues au frottement de l'air dans les tuyaux, et comme on peut, avec approximation, tenir compte de l'effet de la soupape, on aura donc la pression absolue de l'air dans le cylindre.

Dans une machine soufflante, l'équilibre dynamique est, pour une minute,

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_r.$$

$\mathcal{T}_m$ travail moteur dépensé par minute sur la tige du piston soufflant;

$\mathcal{T}_u$ travail absorbé pour comprimer l'air à la pression P dans le cylindre, et le faire sortir de ce cylindre;

$\mathcal{T}_r$ travail absorbé par le frottement de la garniture du piston et celui de la tige dans le stuffenbox, et pour soulever les soupapes.

Pour une cylindrée, on a

$$t_u = qp \times 2{,}3026 \log \frac{P}{p}.$$

q volume d'une cylindrée;
p pression atmosphérique; c'est sensiblement la pression de l'air derrière le piston.

$\frac{1}{0{,}4342945} = 2{,}3026$ nombre par lequel il faut multiplier le logarithme vulgaire d'un nombre pour avoir son logarithme népérien (*Int.*, 385).

Tant que $\frac{P}{p}$ est plus petit que 2, on peut supposer

$$2.3026 \log \frac{P}{p} = \frac{P - p}{0.50\,(P + p)},$$

et il vient

$$t_u = qp\,\frac{P - p}{0.50(P + p)}.$$

Pour un mètre carré de surface,

$$p = 0{,}76 \times 13596^k, \quad \text{et} \quad P = (0.76 + h)\,13596 \text{ kilog.}$$

h hauteur marquée par le manomètre à mercure placé sur le cylindre (44).

Substituant ces valeurs de p et P dans celle de t_u, on a

$$t_u = q \times 13596\,\frac{1.52h}{1.52 + h}.$$

Q' étant le volume engendré par le piston en une minute, on a

$$Q(1 + 0.004t) = 0.75Q', \quad \text{d'où} \quad Q' = \frac{Q}{0.75}\,(1 + 0.004t).$$

On a

$$nq = Q',$$

et par suite,

$$nt_u = \mathcal{T}_u = Q' \times 13596\,\frac{1.52h}{1.52 + h} = \frac{Q}{0.75}\,(1 + 0.004t)136596\,\frac{1.52h}{1.52 + h}.$$

Le frottement de la garniture du piston dépendant de la pression il faudrait tenir compte des variations de pression de l'air dans le cylindre; mais il convient de supposer la pression constante et égale à h, ce qui permet de négliger le frottement de la tige dans le stuffing-box, et on a alors (65)

$$\mathcal{T}_r = n\pi Dehfl,$$

d'où

$$\mathcal{T}_m = \frac{Q}{0.75}\,(1 + 0.004t)13596\,\frac{1.52h}{1.52 + h} + n\pi Dehfl.$$

Il convient de prendre $e = 0^m.04$ et de faire $f = 0.30$.

Le travail absorbé par le stuffing-box a la même expression que $\mathcal{T}_r$; mais e se prend alors égal au diamètre de la tige, et on a $f = 0.20$ environ.

D'après MM. Thomas et Laurens, l'air que la tuyère doit projeter dans le haut fourneau est celui nécessaire à la conversion en oxyde de carbone, du charbon *solide* chargé au gueulard, c'est-à-dire du charbon déduction faite des cendres, de l'eau et des matières volatiles.

Un kilogramme de charbon solide exigeant $4^{mc},41$ d'air à 0° sous la pression $0^m,76$ pour sa conversion en oxyde, comme le charbon de bois moyen contient 0,07 d'eau, 0,025 de cendres et 0,14 de matières volatiles, chaque kilogramme de charbon chargé au gueulard exigera $4,41 \times 0,765 = 3^{mc},374$ d'air.

Un coke moyen contenant 0,05 d'eau, 0,03 de matières volatiles et 0.12 de cendres, les tuyères devront envoyer $4,41 \times 0,80 = 3^{mc},528$ d'air à 0° et à la pression $0^m,76$ par chaque kilogramme de coke chargé au gueulard.

De ces nombres, il résulte que, pour une marche régulière, la tuyère doit envoyer par minute $11^{mc},241$ d'air, à 0° et à la pression $0^m,76$, dans un haut fourneau produisant 4000 kilog. de fonte par jour avec une consommation de 1200 kilog. de charbon de bois par tonne. Ce volume d'air est de $68^{mc},600$ pour un haut fourneau produisant 20 tonnes de fonte par jour avec une consommation de 1400 kilog. de coke par tonne.

Si l'on avait à craindre des pertes par suite d'un refoulement de l'air à la tuyère, on y obvierait en portant la consommation de $4^m,41$ à $4^m,60$.

La capacité utile d'un régulateur à eau varie de dix à douze fois celle du cylindre soufflant; sa section horizontale se fait égale à celle de l'eau environnante. L'eau doit toujours s'élever à $0^m,30$ au-dessus de l'arête inférieure du régulateur, afin qu'on soit assuré qu'il ne s'échappera pas d'air. La capacité d'un régulateur à cylindre flottant varie de deux à trois fois celle du cylindre soufflant; celle d'un régulateur à capacité constante varie de vingt à vingt-cinq fois celle de ce cylindre.

VENTILATEURS.

251. 1° *Ventilateur aspirant.* Si les orifices de sortie de ce ventilateur étaient égaux aux orifices d'entrée, et si l'air n'éprouvait aucune résistance pour pénétrer entre les ailes, ni contre ces ailes, la vitesse de sortie de l'air serait égale à la vitesse de rotation de l'extrémité des ailes. A cause des phénomènes compliqués qui ont lieu dans le ventilateur, il a été impossible jusqu'à présent de donner une expression analytique satisfaisante de son effet. La théorie a conduit M. Combes à courber les ailes; mais jusqu'à présent on a donné la préférence aux ventilateurs à ailes planes, qui sont d'une construction plus fa-

cile. Quelquefois on incline les ailes planes à 40 ou 45° sur le rayon du côté opposé au mouvement.

Il convient de faire le diamètre extérieur du ventilateur double du diamètre intérieur. La distance des joues doit être égale au rayon intérieur si l'air arrive par les deux joues, et moitié seulement si l'air n'arrive que par un côté. Ordinairement le nombre des ailes est six (Consulter la deuxième partie.)

2° *Ventilateur soufflant.* Les phénomènes qui se passent dans ce ventilateur sont encore plus compliqués que dans le précédent. Nous nous contenterons de donner ici les résultats fournis par deux ventilateurs soufflants, à ailes planes légèrement inclinées sur le rayon : le premier à MM. Sudds, Barker et compagnie, de Rouen ; le deuxième à M. Martin, aussi de Rouen.

NOMBRE d'ailes.	DIAMÈTRE extérieur.	DIAMÈTRE intérieur.	ÉCARTEMENT des joues.	CUBILOTS desservis.	NOMBRE de tours en 1'.	FORCE en chevaux-vapeur.	PRODUIT total en fonte par heure.
	m	m	m				kilog.
6	1.0	0.50	0.20	2	1000	4	4000
»	1.4	0.40	0.35	2	600	4	»

Il convient de faire aspirer les ventilateurs par les deux joues, et de tenir leur diamètre entre les limites $0^m,90$ et $1^m,10$.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

232. *Résistance à la traction.* Lorsqu'un corps solide prismatique est tiré dans le sens de sa longueur, il s'allonge d'une certaine quantité, variable pour chaque nature de corps, mais proportionnelle, pour une même matière, à la longueur de la pièce et à l'effort de traction, et inversement proportionnelle à la section transversale de cette pièce.

Cette loi n'est vraie qu'autant que la charge ne produit pas un allongement supérieur à celui que peut atteindre la pièce sans cesser de reprendre très-sensiblement sa longueur primitive quand l'effort cesse son action. Ce plus grand allongement correspond à ce qu'on appelle la limite d'élasticité, limite qu'il ne faut jamais dépasser ni même atteindre dans la pratique.

Dans la limite d'élasticité, on a, pour une tige prismatique homogène de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre carré de section,

$$E = \frac{p}{i}, \quad \text{d'où } i = \frac{p}{E} \quad \text{et} \quad p = iE.$$

E coefficient ou *module d'élasticité* de la matière dont la tige est formée ; c'est le rapport, constant dans la limite d'élasticité, de l'effort p qui tend à allonger la tige, à l'allongement i de la tige. Si la section de la tige était de 1 mètre carré, la valeur de E serait évidemment un million de fois plus grande.

Pour une tige prismatique d'une section A, d'une longueur L et soumise à une charge P, l'allongement I serait

$$I = i \times \frac{P}{p} \times \frac{L}{1} \times \frac{1}{A} = \frac{PL}{EA}. \qquad (a)$$

Ce qui précède peut se répéter pour la compression.

M. Poncelet a formé le tableau suivant, qui donne, pour différents corps, les valeurs moyennes de E, ainsi que celles de i et p correspondant à la limite d'élasticité de ces corps.

DÉSIGNATION DES CORPS.	VALEUR de i.	VALEUR DE p pour 1 millim. carré de section.	VALEUR DE E pour 1 millim. carré de section.
	m	kil	kil
Chêne.	$\frac{1}{600}$=0.001 67	2.00	1 200
Sapin jaune ou blanc.	$\frac{1}{880}$=0.001 17	2.17	1 854
Sapin rouge ou pin.	$\frac{1}{470}$=0.002 10	3.15	1 500
Mélèze ou larix.	$\frac{1}{520}$=0.001 92	1.73	900
Hêtre rouge.	$\frac{1}{570}$=0.001 75	1.63	930
Frêne.	$\frac{1}{885}$=0.001 13	1.27	1 120
Orme.	$\frac{1}{414}$=0.002 42	2.35	970
Fers doux passés à la filière, de petites dimensions.	$\frac{1}{1250}$=0.000 80	14.75	18 000
Fers en barres.	$\frac{1}{1520}$=0.000 66	12.205	20 000
Fers du Berry étirés*.	»	»	20 869
Fers du Berry recuits*.	»	»	20 784
Acier d'Allemagne, très-bonne qualité, recuit à l'huile.	$\frac{1}{835}$=0.001 20	25.00	21 000
Acier fondu très-fin, trempé, recuit à l'huile.	$\frac{1}{4500}$=0.000 222	66.00	30 000
Acier fondu. étiré*.	»	»	19 549
Acier fondu. recuit*.	»	»	19 561
Acier anglais en fil. étiré*.	»	»	18 809
Acier anglais en fil. recuit*.	»	»	17 278
Acier ordinaire recuit au blanc*.	»	»	18 045
Fonte de fer à grains fins.	$\frac{1}{1200}$=0.000 83	10.00	12 000
Fonte grise ordinaire, anglaise, bonne qualité.	$\frac{1}{1400}$=0.000 78	6.00	9 096

* Expériences de M. Wertheim.

DÉSIGNATION DES CORPS.	VALEUR de i.	VALEUR DE p pour 1 millim. carré de section.	VALEUR DE E pour 1 millim. carré de section
	m	kil	kil
Fils de cuivre { étirés*	»	»	12000
Fils de cuivre { recuits*	»	»	10500
Fils de laiton recuits	$\frac{1}{742}$ = 0.00135	15.00	10000
Laiton fondu	$\frac{1}{1320}$ = 0.00076	4.80	6450
Bronze de canon fondu	$\frac{1}{1590}$ = 0.00063	2.00	3200
Fil de plomb de coupelle, étiré à froid, de 4 mill. de diamètre.	$\frac{1}{1490}$ = 0.00067	0.40	600
Fil de plomb impur, du commerce, étiré à froid, de 6 millimètres de diamètre.	$\frac{1}{2000}$ = 0.00050	0.40	800
Plomb fondu ordinaire	$\frac{1}{477}$ = 0.00210	1.00	500
Étain*	»	»	3200
Zinc*	»	»	9600
Or étiré*	»	»	8131
Or recuit*	»	»	5585
Argent étiré*	»	»	7358
Argent recuit*	»	»	7140
Platine, fil moyen*	»	»	17044
Platine, fil moyen, recuit*	»	»	15518

Application. Soit à déterminer l'allongement I d'une barre de d'une section A = 500 millimètres carrés, d'une longueur L = 8 tres, la traction P étant de 3000 kilog. Le tableau précédent E = 20000, et remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la mule (*a*) on a

$$I = \frac{3000 \times 8}{20000 \times 500} = 0^{m},0024.$$

Dans la pratique, il convient de ne soumettre les pièces qu'on peut éprouver directement avant leur emploi, qu'à des charges manentes qui ne dépassent pas la moitié de celles p correspond à la limite d'élasticité; on ne devra dépasser cette moitié que les cas de constructions non permanentes et non soumises à des forts longtemps prolongés, et il ne convient, dans aucun cas, les charges dépassent les 3/4 de celles correspondant à cette lim Il convient, toutes les fois que cela est possible, de faire usag cette règle pour déterminer les dimensions des pièces de const tion.

Quant au cas où l'on se trouve parfaitement éclairé sur les qua et la nature de la matière, lorsque surtout on est certain de sa faite homogénéité, on peut augmenter les charges jusqu'à celles sont voisines de la limite d'élasticité; c'est ce que faisaient les c pagnies qui se livraient spécialement à la construction des ponts pendus.

TABLEAU des résultats des expériences de MM. Chevandier et Wertheim, sur les bois des Vosges.

DÉSIGNATION DES BOIS.	VALEUR DE i.	VALEUR DE φ pour 1 millimètre carré de section.	VALEUR DE E pour 1 millimètre carré de section.
	m	k	k
Acacia	0.002 53	3.168	1 261.9
Sapin	0.001 93	2.153	1 113.2
Charme	0.001 18	1.282	1 085.7
Bouleau	0.001 62	1.617	997.2
Hêtre	0.002 36	2.317	980.4
Chêne à glands pédonculés	»	»	977.8
Chêne à glands sessiles	0.002 54	2.349	921.8
Pin sylvestre	0.002 89	1.633	564.1
Orme	0.001 58	1.842	1 165.3
Sycomore	0.000 98	1.139	1 163.3
Frêne	0.001 11	1.246	1 121.4
Aune	0.001 04	1.121	1 108.1
Tremble	0.000 96	1.035	1 075.9
Érable	0.001 05	1.068	1 021.4
Peuplier	0.001 95	1.007	517.2

VALEURS du coefficient d'élasticité et de la charge de rupture par millimètre carré dans les deux sens perpendiculaires aux fibres (bois des Vosges).

DÉSIGNATION DES BOIS.	VALEUR DE E.		CHARGE DE RUPTURE.	
	Dans le sens du rayon.	Dans le sens perpendiculaire au rayon du cylindre.	Dans le sens du rayon.	Dans le sens perpendiculaire au rayon du cylindre.
	k	k	k	k
Charme	208.4	103.4	1.007	0.608
Tremble	107.6	43.7	0.171	0.414
Aune	98.3	59.4	0.329	0.175
Sycomore	134.9	80.5	0.522	0.610
Érable	157.1	72.7	0.716	0.371
Chêne	188.7	129.8	0.582	0.406
Bouleau	81.1	155.2	0.823	1.063
Hêtre	269.7	159.3	0.885	0.752
Frêne	111.3	102.0	0.218	0.408
Orme	122.6	63.4	0.345	0.366
Peuplier	73.3	38.9	0.146	0.214
Acacia	170.3	152.2	»	1.321
Sapin	94.5	34.1	0.220	0.227
Pin sylvestre	97.7	28.6	0.256	0.196

Effort de rupture par traction. L'effort qui peut produire la rupture d'une pièce, en agissant dans le sens de sa longueur, est

$$P = AR.$$

A section transversale de la pièce;

R effort nécessaire pour rompre une tige de même matière que la pièce et dont la section est l'unité prise pour exprimer A.

TABLEAU des valeurs de R pour différents corps.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR de R pour 1 millimètre carré de section.	EFFORT d'une grande sécurité en pratique pour 1 m.m.c.
1° BOIS (*a*).	kil.	kil.
Chêne, dans le sens des fibres. fort.	8.00	0.800
Chêne, dans le sens des fibres. faible.	6.00	0.600
Tremble, *id.*	6.00 à 7.00	0.60 à 0.70
Sapin, *id.*	8.00 à 9.00	0.80 à 0.90
Sapin des Vosges, *id.*	4.00	0.400
Pin sylvestre des Vosges, *id.*	2.48	0.248
Frêne, *id.*	12.00	1.200
Frêne des Vosges, *id.*	6.78	0.678
Orme, *id.*	10.40	1.040
Orme des Vosges, *id.*	6.99	0.699
Hêtre, *id.*	8.00	0.800
Teak, *id.* employé aux constructions navales.	11.00	1.100
Buis, *id.*	14.00	1.400
Poirier, *id.*	6.90	0.690
Acajou, *id.*	5.60	0.560
Tremble des Vosges, *id.*	7.20	0.720
Tremble, latéralement aux fibres (ou par glissement) . .	0.57	0.057
Sapin, *id.* *id.*.	0.42	0.042
Chêne, perpendiculairement aux fibres.	1.60	0.160
Peuplier, *id.*	1.25	0.125
Larix, *id.*	0.94	0.094
Chêne ou sapin. Pièces droites formées de morceaux assemblés par entailles en crémaillères.	4.00	0.400
Chêne ou sapin. Arcs en planches de champ ou en bois plié	3.00	0.300
2° MÉTAUX (*b*).		
Fer forgé ou étiré en barres. . . Le plus fort, de petit échantillon. . . .	60.00	10.00
Fer forgé ou étiré en barres. . . Le plus faible, de très-gros échantillon.	25.00	4.16
Fer forgé ou étiré en barres. . . Moyen.	40.00	6.66

(*a*) Dans la pratique, les pièces de bois ne peuvent être soumises à une traction permanente supérieure au 1/10 de celle de rupture; cette faible charge est due aux altérations auxquelles les bois sont sujets : ainsi l'expérience a appris que le bois de chêne, qui résiste cependant bien aux intempéries des saisons, ne peut être exposé plus de 25 à 30 ans à l'air libre, à la manière des pièces de ponts, sans être renouvelé.

(*b*) Dans la pratique, il convient que la charge permanente des fers ne dépasse dans aucun cas le 1/3 de la charge de rupture, et qu'elle n'en soit que le 1/4 ou le 1/5 et même le 1/6 quand les constructions sont de grande durée, et que l'on n'est pas suffisamment éclairé sur la qualité et l'homogénéité des fers. Pour la fonte, la charge

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.		VALEUR de R pour 1 millimètre carré de section.	EFFORT d'une grande sécurité en pratique pour 1 m.m.c.
		kil.	kil.
Fer ou tôle laminée.	Tiré dans le sens du laminage (Navier).	44.00	7.00
	Tiré dans le sens perpendiculaire (*id.*).	36.00	6.00
Tôles fortes corroyées dans les deux sens.		35.00	6.00
Fer dit *ruban*, très-doux.		45.00	7.50
Fil de fer non recuit.	De Laigle, employé à la carderie, de 0.23 de millimètre de diamètre.	90.00	15.50
	Le plus fort, de 0.5 à 1.0 millim. de diamètre.	80.00	13.33
	Le plus faible, d'un grand diamètre.	50.00	8.33
	Moyen, de 1 à 3 millim. de diamètre.	60.00	10.00
Fil de fer en faisceau ou câble (M. Bornet).		30.00	5.00
Chaînes en fer doux.	Ordinaires à maillons oblongs.	24.00	4.00
	Renforcées par des étançons.	32.00	5.33
Fonte de fer grise.	La plus forte, coulée verticalement.	13.50	2.25
	La plus faible, coulée horizontalement.	12.50	2.08
Acier.	Fondu ou de cémentation, étiré au marteau et en petits échantillons (1re qualité).	100.00	16.67
	Le plus mauvais, en barres de très-gros échantillons, mal trempé.	36.00	6.00
	Moyen.	75.00	12.50
Bronze de canons, moyennement.		23.00	3.83
Cuivre rouge laminé, dans le sens de la longueur (Navier).		21.00	3.50
Cuivre rouge de qualité supérieure (Trémery et Poirier Saint-Brice).		26.00	4.33
Cuivre rouge battu (Rennie).		25.00	4.17
Id. fondu (*id.*).		13.40	2.33
Cuivre jaune ou laiton fin (*id.*).		12.60	2.10
Arcs ou pièces d'assemblage en fer forgé ou en fonte grise.		25.20	4.20
Cuivre rouge en fil, non recuit.	Le plus fort, de moins de 1 millimètre de diamètre.	70.00	11.67
	Moyen de 1 à 2 millim. de diamètre.	50.00	8.33
	Id. le plus mauvais.	40.00	6.67
Cuivre jaune (laiton) en fil non recuit.	Le plus fort, de moins de 1 millimètre de diamètre (Dufour).	85.00	14.16
	Moyen, de plus de 1 millimètre de diamètre (Ardant et Dufour).	50.00	8.33
Fil de platine écroui, non recuit, de 0.117 de millimètre de diamètre (Baudrimont).		116.00	19.33
Fil de platine recuit, d'après la mesure directe du diamètre.		34.00	5.67
Étain fondu (Rennie).		3 00	0.50
Zinc fondu.		6.00	1.00
Zinc laminé.		5.00	0.833
Plomb fondu (Rennie).		1.28	0.213
Plomb laminé (Navier).		1.35	0.225

ermanente ne doit jamais dépasser le 1/4 de la charge de rupture, et encore doit-on viter son emploi dans les constructions exposées à des chocs.

Le rapport des charges permanentes aux charges de rupture pour les autres métaux st le même que pour le fer ou la fonte, suivant que leur état se rapproche plus de ce-i de l'un ou de l'autre de ces métaux.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR de R pour 1 millimètre carré de section.	EFFORT d'une grand sécurité en pratiqu pour 1 m.m.c
Fil de plomb de coupelle, fondu, puis passé à la filière, ayant 4 millimètres de diamètre (Ardant).	kil. 1.36	kil. 0.227
3° CORDES (*c*).		
Aussières et grelins en chanvre de Strasbourg, de 13 à 14 millimètres de diamètre.	8.80	4.40
Aussières et grelins en chanvre de Lorraine, de 13 à 17 millimètres.	6.50	3.25
Aussières et grelins en chanvre de Lorraine ou de Strasbourg, de 23 millimètres	6.00	3.00
Aussières et grelins de Strasbourg, de 40 à 54 millim. . .	5.50	2.75
Cordages goudronnés.	4.40	2.20
Vieille corde, de 23 millimètres.	4.20	2.10
Courroie en cuir noir.	»	0.20
4° MATIÈRES DIVERSES (*d*).		
Verre et cristal, en tubes ou en tiges pleines.	2.48	0.248
Basalte d'Auvergne	0.770	0.077
Calcaire de Portland	0.600	0.060
Id. blanc d'un grain fin et homogène	0.144	0.0144
Id. à tissu compacte (lithographique).	0.308	0.0308
Id. à tissu arénacé (sablonneux)	0.229	0.0229
Id. à tissu oolithique (globuleux).	0.137	0.0137
Roche de Bagneux, près Paris.	0.151	0.0151
Pierre tendre, dite *vergelet*.	0.073	0.0073
Briques de Provence, très-bien cuites et d'un grain très-uni.	0.195	0.0195
Id. ordinaires, faibles.	0.080	0.0080
Id. de Bourgogne, très-dures.	0.207	0.0207
Id. de Paris, bien cuites	0.119	0.0119
Plâtre — gâché ferme	0.117	0.0117
Plâtre — *id.* moins ferme que le précédent	0.058	0.0058
Plâtre — *id.* fabriqué à la manière ordinaire	0.040	0.0040
Plâtre — au panier, gâché très-serré.	0.098	0.0098
Plâtre — au sas, gâché moins serré que le précédent. . .	0.070	0.0070
Plâtre — au panier, gâché pour enduits (pas trop serré).	0.049	0.0049
Mortier — en chaux hydraulique des buttes Chaumont, près Paris, un an après son emploi	0.071	0.0071
Mortier — en chaux grasse et sable, âgé de 14 ans. . . .	0.042	0.0042
Mortier — en chaux grasse, mauvais.	0.0075	0.00075
Mortier — en chaux hydraulique ordinaire et sable. . . .	0.0900	0.0090
Mortier — en chaux éminemment hydraulique.	0.1500	0.0150

(*c*) Pour les cordes, la charge permanente peut être la moitié de la charge de ru ture. La rupture est précédée d'un allongement qui est le 1/6 de la longueur primitiv cet allongement est réduit à 1/10 si l'effort n'est que moitié de la charge maxima.

D'après Coulomb, la résistance d'une corde goudronnée n'est que les 2/3 ou les de celle d'une corde blanche d'un même nombre de fils de caret, et, d'après Duham la résistance d'une corde mouillée n'est que le 1/3 de la même corde sèche.

(*d*) Ces matières ne sont employées qu'accidentellement pour résister à l'extensio la charge permanente qu'il convient de leur faire supporter est le 1/10 de la charge rupture.

	DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR de R pour 1 millimètre carré de section.	EFFORT d'une grande sécurité en pratique pour 1 m.m c.
Mortier (suite)	en ciment de Pouilly et sable (parties égales), après un an de durcissement dans l'air ou dans l'eau.	kil. 0.096	kil. 0.0096
	en ciment de Vassy et sable (parties égales), après six mois de durcissement à l'air.	0.0962	0.00962
	en ciment de Vassy et sable (parties égales), après un an de durcissement dans l'eau, aux enduits des radiers des égouts de Paris. . . .	0.454	0.0454
	en ciment de Vassy (pur), après un an de durcissement dans un massif de fondation humide.	0.207	0.0207
	en ciment de Vassy (pur), après un mois de durcissement dans l'eau de mer	0.113	0.0113
	en ciment de Vassy et sable (parties égales), après un mois de durcissement dans l'eau de mer.	0.085	0.0085

Passons maintenant en revue quelques expériences faites dans ces derniers temps.

1° Des expériences faites à Guérigny par M. Bornet sur une barre de fer à câble de 0m,0495 de diamètre et de 6m,42 de longueur, et d'autres faites par M. Ardant sur des fils de fer doux ou recuits et sur des fils durs ou non recuits, ont donné les résultats du tableau suivant :

FER À CÂBLES, DUCTILE		FIL DE FER.		
Charge par millimètre carré.	Allongement par mètre courant.	Charge par millimètre carré.	Allongement par mètre courant.	
			Fer doux recuit.	Fer dur non recuit.
kil.	millim.	kil.	millim.	millim.
2	0.08	5	0.294	0.260
4	0.16	10	0.588	0.520
6	0.31	12	0.882	0.780
8	0.36	15	1.176	1.040
10	0.47	20	1.470	1.300
12	0.58	25	2.500	1.560
14	0.69	30	13.000	»
16	0.86	32.5	14.400	2.220
18	2.20	35.0	18.300	2.400
20	15.76	40.0	20.500	»
22	24.35	42.5	Rupture.	2.820
24	34.97	45.0	»	3.400
26	46.96	49.0	»	Rupture.
28	67.70	50.0	»	»
30	89.39			
32	132.48			
	Rupture.			

Ce tableau montre que jusqu'à une certaine limite, qu'on peut considérer comme la limite d'élasticité, l'allongement reste à peu près proportionnel à la charge, mais qu'au delà l'allongement augmente dans un rapport beaucoup plus grand que la charge. Il fait voir aussi quelle influence a le recuit sur la limite d'élasticité et la résistance à la rupture.

2° Des expériences faites avec beaucoup de soin par M. Eaton Hodgkinson, sur des barres de fer de première qualité et de $0^m,01313$ de diamètre, assemblées bout à bout par des manchons, de manière à former un ensemble de 15 mètres de longueur, il résulte :

1° Que sous les charges inférieures à celle qui correspond à la limite d'élasticité il y a un allongement permanent;

2° Que, jusqu'à la charge de $14^k,997$ par millimètre carré, les allongements totaux croissent à peu près proportionnellement aux charges, et qu'il en est de même des allongements permanents, mais sans que ces derniers s'élèvent au plus à la valeur, négligeable dans la pratique, d'un centième de millimètre par mètre, sous la charge de $14^k,997$;

3° Au delà de la charge de $14^k,997$, et surtout à partir de celle de $18^k,74$ par millimètre carré, les allongements, et surtout les allongements permanents, croissent très-rapidement et dans un rapport plus grand que les charges;

4° La valeur moyenne du module d'élasticité E a été de 19359,458 500.

3° M. E. Hodgkinson a aussi fait des expériences sur des fontes de quatre localités anglaises. Les barres avaient 645 millimètres carrés de section et $3^m,05$ de longueur, et étaient assemblées bout à bout pour obtenir des longueurs de $15^m,25$. De ces expériences il résulte :

1° Que, jusqu'à la charge d'environ 6 kil. par millimètre carré, charge bien supérieure à celle que l'on atteint dans la pratique, les allongements totaux et les *allongements élastiques* (différences entre les allongements totaux et les allongements permanents) sont sensiblement proportionnels aux charges, mais cependant avec un peu plus d'écart que pour le fer;

2° Entre la charge $0^k,74$ par millimètre carré de section et celle $5^k,92$ correspondant à un allongement de $0^m,000715$ par mètre ou de $\frac{1}{1400}$, la valeur moyenne du module d'élasticité est $E = 9096,070000$, valeur qui diffère de $1/12$ environ de la plus forte et de la plus faible.

4° Des expériences faites par M. E. Hodgkinson ont fait connaître que la résistance de la fonte à la rupture est la même, que les hauts-fourneaux soient soufflés à l'air chaud ou à l'air froid. Cette résistance a été en moyenne de $11^k,234$ par millimètre carré de section. En 1815, MM. Minard et Desormes avaient trouvé $11^k,325$.

5° La difficulté d'obtenir des pièces épaisses de fonte bien pleines et bien saines à l'intérieur, fait que dans les presses hydrauliques puissantes la fonte travaille parfois sous des charges très-rapprochées de celle de rupture (213).

6° M. Edwin Clark rapporte que des expériences faites sur des

les pour chaudières on donné en moyenne une résistance à la rupture par traction de 30k,89 par millimètre carré de section. Les épaisseurs de tôle ont varié de 0m,0127 à 0m,0175, et, quoique de provenances diverses, les résistances n'ont pas varié sensiblement.

7° Des expériences faites pour déterminer l'influence du sens du laminage sur la résistance de la tôle ont donné en moyenne 31k,48 et 3k.48, suivant que la tôle est tirée parallèlement ou normalement u sens du laminage.

D'autres expériences faites dans le même but par M. Fairbairn, ingénieur de Manchester, ont donné 34k,46 et 35k,25 pour ces résistances moyennes; c'est sensiblement la même valeur.

8° Les rivets qui réunissent les plaques de tôle, les boulons d'assemblage des chaînes plates, ceux des poulies, des moufles, etc., résistent à un effort transversal ou de *cisaillement*.

Suivant que les boulons ou rivets réunissent 2, 3, 4... n plaques, comme dans les moufles par exemple, il y a respectivement 1, 2, 3... $n-1$ points de cisaillement, et l'expérience prouve que la résistance est proportionnelle à ces nombres de points, et que cette résistance est sensiblement la même que si chaque section cisaillée résistait à un effort de traction longitudinal. En effet, des expériences ont donné une résistance moyenne au cisaillement de 36k,69 par millimètre carré, et la résistance du fer à l'extension a été trouvée de 36 à 40 kilog.

Des expériences faites par M. Fairbairn ont donné, selon que deux feuilles de tôles sont réunies par un simple rang de rivets ou par deux rangs dont les rivets de l'un se croisent avec ceux de l'autre, une résistance moyenne à la rupture de 29k,67 et 38k,33 par millimètre carré de la section de la tôle faite par les axes des trous; cette dernière résistance est très-sensiblement celle de la tôle.

Quelques expériences citées par M. E. Clarck tendent à faire estimer 5000 ou 6000 kilog. le frottement produit par un seul rivet bien fait, remplissant bien son trou, et de 21 à 22 millimètres de diamètre; ce qui l'a conduit à conclure que les solides formés par des tôles ainsi assemblées résistaient comme s'ils étaient d'une seule pièce. Cette estimation paraît un peu exagérée; mais elle peut être admise dans la pratique, vu la faible charge que l'on fait supporter à la tôle, sauf à diminuer un peu le coefficient de résistance de la tôle.

MM. Gouin et Cie ont fait tourner des broches en fer corroyé, dit extramartelé de Grenelle, et avec ils ont réunit deux tiges en acier trempé, dont l'une embrassait l'œil de l'autre par une fourchette bien assemblée; ces tringles, soumises à des efforts de traction, ont donné les résultats suivants :

Diamètres des broches en millimètres. . . .	8	10	12	16
Résistance moyenne des broches par millim.	32k,70	34k,55	34k,48	31k,83

Le même fer que les broches, tiré longitudinalement, ne s'est rompu que sous une charge de 40 kilog. par millimètre carré.

En rivant à chaud les broches qui ont donné $31^k,83$, le même appareil a fourni $32^k,55$ pour cette résistance. La faible différence de ces nombres ne serait-elle pas due à ce que les deux branches de la fourchette ne se rapprochaient pas facilement et étaient dans un certain état de poli?

233. Des vis à bois de $0^m,050$ de longueur, de $0^m,0056$ de diamètre en dehors des filets, et de $0^m,0028$ au noyau, engagées par 12 filets dans des planches de $0^m,027$ d'épaisseur, peuvent être chargées en toute sécurité de 35 kilog. pour le sapin, de 68 kilog. pour le chêne, de 71 kilog. pour le frêne sec, et de 59 kilog. pour l'orme (261).

234. *Résistance à la compression.*

1° *Bois.*

D'après Rondelet, un cube de chêne chargé suivant la longueur de ses fibres s'écrase sous une charge de 385 à 462 kilog. par centimètre carré de section, et un cube de sapin sous celle de 439 à 462 kilog.; de plus, cette charge de rupture reste à peu près la même tant que la longueur de la pièce ne dépasse pas 7 à 8 fois la plus petite dimension de la section transversale.

Des expériences faites par M. E. Hodgkinson sur trois cylindres en bois de teak de $0^m,0127$, $0^m,0254$ et $0^m,0508$ de diamètre, et d'une hauteur double du diamètre, prouvent que la résistance à l'écrasement est à très-peu près proportionnelle à la section.

Le même expérimentateur rapporte les résultats suivants obtenus avec des cylindres de $0^m,0254$ de diamètre et de $0^m,0508$ de hauteur. Les premiers résultats sont relatifs à des bois à l'état ordinaire de sécheresse, et les seconds à des bois ayant séjourné pendant deux mois dans une espèce d'étuve.

ESSENCE DES BOIS.	RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT par centimètre carré.	
	Bois à l'état ordinaire.	Bois très-sec.
	kil.	kil.
Aune	480	489
Frêne	616	658
Laurier	528	528
Hêtre	543	658
Bouleau d'Amérique	»	820
Bouleau d'Angleterre	232	450
Cèdre	399	412
Pommier sauvage	457	502
Sapin rouge	404	463
Sapin blanc	477	543
Sureau	524	704
Orme	»	726
Sapin de Prusse	457	479
Horn-beam	319	512
Acajou	576	576
Chêne de Québec	297	421
Chêne anglais	456	707
Chêne de Dantzick très-sec	»	543
Pin résineux	477	477
Pin jaune rempli de térébenthine	378	383
Pin rouge	379	528
Peuplier	218	360
Prunier	379	737
Sycomore	498	»
Teak	»	850
Larix	225	391
Noyer	426	508
Saule	203	431

D'après Rondelet, la résistance d'un cube de bois à l'écrasement étant 1, celle des poteaux sera représentée par les nombres du tableau suivant, dans lequel r désigne le rapport de la hauteur du poteau au côté de sa base.

Rapport r. .	1	12	24	36	48	60	72
Résistance. .	1	$\frac{5}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{24}$

M. Morin, en représentant les résultats du tableau précédent par une courbe rectifiée, et en admettant avec Rondelet que la charge permanente des poteaux en bois peut s'élever au 1/7 de la charge de rupture, et que la résistance du cube de chêne est de 420 kilog. par centimètre carré, a formé le tableau suivant des charges que l'on peut faire supporter aux poteaux :

Rapport r . .	12	14	16	18	20	22	24	28	32	36	40	48	60	72
Charge en kil.	44.3	42.0	39.4	37.0	35.0	32.7	36.0	26.0	22.0	19.1	15.4	10.2	5.4	2.[illegible]

M. E. Hodgkinson a fait quelques expériences sur des poteaux [de] bois dont la longueur a varié de 30 à 45 fois le côté de la base, et a reconnu que ses résultats étaient assez bien représentés, suiva[nt] que la section est carrée ou rectangulaire, par la formule

$$P = K \frac{b^4}{l^2} \quad \text{ou} \quad P = K \frac{ab^3}{l^2}.$$

P résistance à la rupture du poteau, en kilogrammes;
K coefficient constant, que M. Hodgkinson a trouvé égal à 2565 pour le chêne [de] Dantzick;
b côté de la section carrée ou petit côté de la section rectangulaire du poteau, [en] centimètres;
a grand côté de la section rectangulaire, en centimètres;
l hauteur du poteau en décimètres.

Dans les formules précédentes, on fera :

K = 2565 pour le chêne fort;
K = 1800 pour le chêne faible;
K = 2142 pour le sapin rouge et blanc fort et le pin résineux;
K = 1600 pour le sapin blanc faible et le pin jaune.

Pour ne faire travailler les pièces qu'au dixième de la charge [de] rupture, il suffit simplement de diviser par 10 les valeurs précédent[es] de K.

Avant M. Hodgkinson, MM. Navier et Duleau avaient déjà établi d'après des hypothèses, que théoriquement la résistance à l'écras[e]ment est proportionnelle à

$$\frac{b^4}{l^2}, \quad \text{ou} \quad \frac{ab^3}{l^2}, \quad \text{ou} \quad \frac{d^4}{l^2},$$

selon que la section de la pièce est carrée, ou rectangulaire, ou ci[r]culaire d'un diamètre d.

M. Morin, en appliquant la formule précédente de M. Hodgkinso[n] à un poteau de chêne fort de 0m,15 d'équarrissage, et en faisa[nt] K = 256,5, a obtenu les charges suivantes par centimètre carré :

Rapport r. . . .	12	14	16	18	20	24	28	32	36	40	48	60	72
Charge en kil. .	178	134	100	79	64	44.5	32.8	25	19.8	16.0	11.1	7.1	4.9

Ce tableau peut être considéré comme étant d'accord avec celui de la page 283, déduit des expériences de Rondelet, pour les valeurs de r comprises entre 30 et 45, c'est-à-dire pour les valeurs qui ont servi à M. Hodgkinson pour établir sa formule; mais hors de ces limites, il y a un désaccord notable.

M. Morin cite en faveur de ce dernier tableau les poteaux du rez-de-chaussée du magasin aux blés de la Villette, qui ont 0m,31 sur 0m,20 d'équarrissage et une hauteur de 32 décimètres, ce qui donne $r = 16$, et qui ont très-bien supporté à plusieurs reprises, depuis plus de 12 ans et pendant des temps assez longs, une charge de 123 kilog. par centimètre carré; dans ces proportions, le tableau précédent ne donne que 100 kilog.

Malgré ces faits, quand il s'agit d'une matière aussi altérable que le bois, et en considération de ce que les expériences de M. Hodgkinson sont trop peu nombreuses, et qu'elles ont été faites sur des échantillons de choix, nous conseillons de ne pas atteindre les charges du tableau précédent hors des limites $r = 30$ à 45, surtout pour des constructions durables.

Les pilots enfoncés complétement dans le sol se chargent de 30 à 35 kilog., et même quelquefois plus, par centimètre carré de section (127, et fondations, 6e partie).

Pour les constructions de durée, la charge permanente des bois ne doit pas dépasser le 1/10 de la charge de rupture des pièces dans les mêmes conditions, et pour les constructions temporaires ou de peu d'importance, le 1/6 ou le 1/5 au maximum.

2° *Fonte.*

Compression. M. E. Hodgkinson a soumis à la compression des barres de fonte de 3m,05 de longueur sur 6cent.c.,45 de section; toutes les précautions étaient prises pour les empêcher de fléchir, et des résultats obtenus, il résulte que, jusque vers la charge de 17k,41 par millimètre carré de section, les compressions totales sont sensiblement proportionnelles aux charges, et que, jusqu'à la charge de 23k,27, les compressions élastiques, c'est-à-dire les compressions totales moins les compressions permanentes, sont exactement proportionnelles aux charges. Les compressions permanentes sont tellement faibles jusque vers les charges de 10 à 12 kilog. par millimètre carré, qu'elles sont négligeables dans la pratique.

Le coefficient d'élasticité par compression a été en moyenne, jusqu'à la charge de 17k,41,

$$E = 8\,804{,}764\,000. \qquad (n^{\circ}\ 232)$$

Cette valeur n'a différé au maximum que de 1/22 de celle qui s'en est le plus écartée.

Comme on a pour l'extension $E = 9\,096{,}070\,000$ (page 280), on peut

donc supposer que, dans les limites de charges de la pratique, la fonte résiste également à l'extension et à la compression, et prendre pour E la moyenne des deux valeurs précédentes, c'est-à-dire 8 950,417 000.

Les expériences antérieures à celles de M. E. Hodgkinson avaient conduit à faire E = 12 000,000 000 pour les fontes grises à grains fins (page 273).

Charge de rupture. Des expériences de M. E. Hodgkinson, il résulte que la résistance à la rupture est sensiblement constante pour des hauteurs de pièces variant de 1 à 5 fois la plus petite dimension de la section transversale; en deçà, la résistance est plus grande, et au delà, elle diminue considérablement à mesure que ce rapport augmente. Des expériences sur 18 espèces de fonte ont donné une résistance moyenne de 6 321 kilog. par centimètre carré; mais comme cette résistance a varié de 3 965 à 11 153 d'une fonte à une autre, il y a donc lieu, dans la pratique, d'essayer les fontes que l'on veut employer. La résistance généralement admise jusqu'ici dans les ouvrages français est de 10 000 kil., nombre qu'il paraît convenable de descendre à 8 000 kilog.

M. E. Hodgkinson a soumis à des efforts de rupture par compression des piliers en fonte des forges de Low-Moor, Yorkshire, du n° 3, bonne qualité, à grains gris assez serrés et de dureté moyenne, d'une résistance maximum de 8 133 kilog. par centimètre carré, et de ses expériences, il a conclu que pour des colonnes dont la hauteur varie de 30 à 120 fois le diamètre, on a respectivement pour les colonnes pleines et les colonnes creuses

$$P = 10\,676 \frac{d^{3,6}}{l^{1,7}} \quad \text{et} \quad P = 10\,676 \frac{d^{3,6} - d'^{3,6}}{l^{1,7}}.$$

P effort de rupture en kilogrammes;
d diamètre de la colonne pleine ou diamètre extérieur de la colonne creuse, en centimètres;
d' diamètre intérieur de la colonne creuse, en centimètres;
l hauteur de la colonne en décimètres.

Pour des piliers plus courts, M. Hodgkinson donne la formule

$$P' = \frac{PR}{P + \frac{3}{4} R}.$$

P' effort de rupture, en kilogrammes;
P effort calculé par l'une des formules précédentes;
R résistance maximum du pilier proposé en supposant sa hauteur égale à 1 fois 1/2 son diamètre.

Comme dans la pratique il est prudent que les colonnes en fonte ne travaillent qu'au 1/6 de la charge de rupture, il faudra faire le coefficient numérique des formules précédentes égal à 1780.

Dans aucun cas, la charge permanente ne doit dépasser le 1/5 ou le 1/4 de celle de rupture.

En général, on peut supposer que les fontes françaises ne s'écrasent que sous des charges d'environ 8000 kilog. par centimètre carré; mais si l'on employait des fontes d'une résistance sensiblement différente, il suffirait de multiplier le coefficient numérique des formules précédentes par le rapport de la résistance de la fonte employée à la résistance 8133 kilog.

M. Love a donné la formule suivante, plus simple que la précédente, représentant bien les résultats de M. Hodgkinson, s'appliquant à tous les piliers en fonte dont la hauteur varie de 4 à 120 fois le diamètre, et directement à une fonte quelconque,

$$P = \frac{R}{1,45 + 0,003\,37\left(\frac{l}{d}\right)^2}.$$

P charge de rupture;
R comme ci-dessus, résistance maximum du pilier supposé très-court;
l et d dimensions du pilier en centimètres.

Pour les piliers dont la hauteur l varie de 5 à 30 fois le diamètre d, M. Love a encore donné la formule plus simple

$$P = \frac{R}{0,68 + 0,1\,\frac{l}{d}}.$$

Supposant la résistance maximum de la fonte égale à 8000 kil. par centimètre carré, en la faisant travailler au 1/6 de cette charge, de ces formules on conclut le tableau suivant :

Rapport $r = \frac{l}{d}$. .	< 5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Charge en kil. . .	1333	746	476	297	195	169	98	74	58	46	38

Des expériences de M. E. Hodgkinson donnent pour le rapport moyen de la résistance à la rupture de la fonte par compression à la résistance par traction 6.595, et d'après cet auteur, il y a lieu de croire cette moyenne un peu faible; il pense qu'elle est comprise entre 7 et 8 pour une même fonte. D'autres expériences ne lui ont donné que 5.637 pour ce rapport moyen.

Qu'une même fonte ait été préparée à l'air froid ou à l'air chaud, sa résistance paraît être la même, soit à la traction, soit à la compression.

De ses expériences, M. E. Hodgkinson a conclu

TABLEAU des charges qui écrasent, après un temps très-court, différents corps, 1 centimètre carré de section. Les résultats accompagnés d'un astérisque ont été fo nis par des cubes ayant de 0m.01 à 0m.02 de côté ; les autres ont été obtenus en o rant sur des cubes de 3 à 5 centimètres de côté (89 *Art.*).

DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉ.	CHARGE.
PIERRES VOLCANIQUES, GRANITIQUES, SILICEUSES ET ARGILEUSES.		kil.
Basalte de Suède et d'Auvergne	2.95	2000
Lave dure du Vésuve (*piperno*), près Pouzzol	2.60	590
Lave tendre de Naples	1.97	230
Porphyre	2.87	2470
Granit vert des Vosges	2.85	620
Granit gris de Bretagne	2.74	650
Granit de Normandie, dit gatmos	2.66	700
Granit de Normandie (Flamanville)	2.71*	707*
Granit gris des Vosges	2.64	420
Grès très-dur, blanc ou roussâtre	2.50	870
Grès tendre	2.49	4
Grès de Fontainebleau	2.57*	895*
Pierre porc ou puante (argileuse)	2.66	680
Pierre grise de Florence (argileuse, à grain fin)	2.56	420
PIERRES CALCAIRES.		
Marbre noir de Flandre	2.72	790
Marbre blanc veiné, statuaire et turquin	2.69	310
Pierre noire de Saint-Fortunat, très-dure et coquilleuse	2.65	630
Roche de Châtillon, près Paris, dure et peu coquilleuse	2.29	170
Roche de la butte aux Cailles	2.40*	325*
Liais de Bagneux, près Paris, très-dur, à grain fin	2.44	440
Roche douce de Bagneux, près Paris	2.08	130
Roche d'Arcueil, près Paris	2.30	250
Roche de Saint-Nom, près Versailles	2.39*	263*
Pierre de Saillancourt, près Pontoise. 1re qualité	2.41	140
Pierre de Saillancourt, près Pontoise. 2e qualité	2.10	90
Pierre ferme de Conflans, employée à Paris	2.07	90
Pierre tendre (lambourde et vergelet), employée à Paris, résistant à l'eau	1.82	60
Pierre tendre de Carrières-sous-Bois, près Saint-Germain, remplaçant le vergelet	1.79*	58*
Lambourde de qualité inférieure, résistant mal à l'eau	1.56	20
Calcaire dur de Givry, près Paris	2.36	310
Calcaire tendre de Givry, près Paris	2.07	120
Calcaire jaune oolithique de Jaumont, près Metz. 1re qualité	2.20	180
Calcaire jaune oolithique de Jaumont, près Metz. 2e qualité	2.00	120
Calcaire jaune d'Amanvilliers, près Metz. 1re qualité	2.00	120
Calcaire jaune d'Amanvilliers, près Metz. 2e qualité	2.00	100
Pierre de roche de Château-Landon	2.63*	350*
Roche vive de Saulny, près Metz (non rompue)	2.55	300
Roche jaune de Rozérieulles, près Metz	2.40	180
Calcaire bleu à gryphite, donnant la chaux hydraulique de Metz (non rompue)	2.60	300
BRIQUES.		
Brique dure, très-cuite	1.56	150
Brique rouge	2.17	60

DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉ.	CHARGE.
		kil.
Brique rouge pâle (probablement mal cuite)	2.09	40
Brique de Hammersmith	»	70
Brique de Hammersmith (brûlée ou vitrifiée)	»	100
Brique anglaise ou flamande tendre	»	18
Brique bien cuite, de Bourgogne	2.20*	150*
Brique bien cuite, de Sarcelles	2.00*	125*
Brique d'une cuisson ordinaire, de Montereau	1.78*	110*
Brique rouge de pays (Paris)	1.52*	90*
PLATRES ET MORTIERS.		
Plâtre au panier, gâché très-serré, 30 h. après l'emploi	1.57	52
Plâtre au panier, gâché au lait de chaux	»	73
Mortier ordinaire en chaux et sable	1.60	35
Mortier en ciment ou tuileaux pilés	1.46	48
Mortier en grès pilé	1.68	29
Mortier en pouzzolane de Naples ou de Rome	1.46	37
Enduit d'une conserve antique, près de Rome	1.55	76
Enduit en ciment des démolitions de la Bastille	1.49	55
Mortier en ciment de Vassy avec moitié sable, 15 jours après le gâchage	2.11*	155*
Béton en mortier de chaux hydraulique, de 6 mois	1.85	41
D'après les expériences de M. Vicat sur des cubes de 1 centimètre de côté.		
Pierre calcaire à tissu arénacé (sablonneuse)	»	94
Id. à tissu oolithique (globuleuse)	»	106
Id. à tissu compacte (lithographique)	»	285
Brique crue, ou argile séchée à l'air libre	»	33
Plâtre ordinaire, gâché ferme	»	90
Id. gâché moins ferme que le précédent	»	42
Mortier en chaux grasse et sable ordinaire, âgé de 14 ans	»	19
Id. hydraulique ordinaire	»	74
Id. éminemment hydraulique	»	144
D'après des expériences récentes faites au Conservatoire des Arts et Métiers.		
1° PIERRES CALCAIRES.		
Roches de Bagneux. . . . . cubes de 0m.06 sur 0m.06	2.777	734
Laversine. *id.*	2.546	572
Vitry. *id.*	2.453	484
Moulin. *id.*	2.296	249
Saint-Nom. *id.*	»	432
Forgel. *id.*	2.245	244
Marly-la-Ville. cubes de 0m082 sur 0m.082	2.065	246
Vergelé-Ferré. *id.*	1.887	125
Abbaye Duval. *id.*	1.727	64.3
Banc-Royal, de Merry. *id.*	1.722	61.5
Vergelé-fin. *id.*	1.497	41.9
Lambourde. *id.*	1.696	36.4
Calcaire de Caumont (Eure). cubes de 0m.08 sur 0m.08	2.020	424
2° GRÈS BIGARRÉ DES VOSGES.		
Niederwiller. cubes de 0m.08 sur 0m.08	2.170	460
Witzbourg. *id.*	»	412

DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉ.	CHARGE.
		kil.
Bréménil........ cubes de 0m.08 sur 0m.08. .	»	442
Kibolo. .... *id.*	»	419
Arscheviller. .... *id.*	»	362
Merwiller.. .... *id.*	»	294
3° CUBES ARTIFICIELS EN PLATRE ET SILICE.		
Plâtre silicaté sans cailloux; cubes pleins de 0m.20 de côté.	»	49.50
Id. avec cailloux. ...... *id.*	»	64.32
Id. sans cailloux } cube de 0m.20 de côté, évidés de manière à diminuer de 1/4 la section résistante. .	»	58.38
Id. avec cailloux }	»	66.77

La résistance du mortier de ciment de Vassy à la pression a été en outre constatée par MM. Gariel et Garnier, en écrasant des prismes de 0m,16 de longueur, 0m,08 de largeur et 0m,054 d'épaisseur, fabriqués depuis deux ans et demi, et qui étaient constamment restés à l'air. Dix expériences successives ont donné pour limites supérieure et inférieure de résistance 197 et 121 kil., et en moyenne 150 kil. par centimètre carré. Si ces prismes étaient restés pendant le même temps dans l'eau ou dans une terre humide, leur résistance eût été plus grande de 1/5 environ.

Dans la pratique, la charge permanente qu'il convient de faire supporter aux matériaux du tableau précédent n'est que le 1/10 de celle qui produit la rupture; dans les constructions les plus légères elle ne dépasse pas le 1/6, et dans les constructions de moellons ou de petits matériaux, et souvent de pierres de taille, il convient de la réduire à 1/15 et même à 1/20; il en est de même pour les supports isolés dont le rapport de la hauteur à la plus petite dimension de la section transversale est très-grand.

D'après M. Vicat, une maçonnerie âgée de cinq mois peut supporter, sans altération quelconque, 200 000 kil. par mètre carré, pour un appareil en pierre de taille, et 40 000 kil. en moyenne pour un massif en moellons bien gisants et mortier médiocrement hydraulique.

Lorsqu'il s'agit d'une maçonnerie de voûte, laquelle offre plus de difficultés d'exécution et de chances de destruction, et qui est abandonnée à elle-même avant que le mortier soit tout à fait pris, nous pensons que les coefficients ci-dessus de M. Vicat doivent ordinairement être réduits au quart. Les ingénieurs et architectes peuvent, du reste, modifier cette valeur selon les soins apportés dans la construction, le retard mis au décintrement, et le degré de stabilité dont doit jouir la construction.

M. Dejardin, ingénieur des ponts et chaussées, dans sa *Routine de* *tablissement des voûtes*, a donné les valeurs suivantes du coefficient *résistance pratique à l'écrasement*, par mètre carré, selon les di-erses espèces de maçonnerie, qui peuvent être adoptées pour l'établissement des voûtes, savoir :

Maçonnerie	en moellons informes, en bétons.	5 000 kil.
—	— dits *pendants*.	10 000
—	— équarris, bien posés.	20 000
—	— appareillés en coupe.	30 000
—	en pierres de taille appareillées.	50 000

On a remarqué que les pierres soumises à l'écrasement résistent 'autant mieux que leur section se rapproche davantage de la forme irculaire; ainsi, pour deux pierres de même hauteur, dont l'égale ection était carrée pour la première et circulaire pour la deuxième, es résistances ont été dans le rapport des nombres 8 et 9. On a remarqué aussi que la résistance d'un cube étant 1, celle du cylindre nscrit est 0,80 quand il repose sur sa base, et 0,32 quand il repose sur ne arête, et que celle de la sphère inscrite est 0,26.

235. *Section d'une bielle.* Pour les machines à basse pression, Watt ait la section de la bielle en fonte égale au 1/28 de celle du piston, ce ui correspond à une charge de 28 kilog. par centimètre carré; aux xtrémités, la section est 1/35, et la charge 35 kilog.

Pour les bielles en fer forgé, la charge peut varier de 50 à 60 kilog. u milieu, et de 90 à 100 kilog. aux extrémités.

Dans les bielles à noyau cylindrique, ce noyau doit être suffisant our résister aux effets de traction et de compression; les nervures, ont la saillie au milieu de la longueur de la bielle est ordinairenent égale au rayon du noyau, ont pour but d'éviter les flexions.

De ses expériences, M. E. Hodgkinson conclut qu'à section égale une ielle à section cruciforme, ordinairement employée, est moins résistante qu'une bielle à section annulaire dans le rapport de 18 à 0 environ.

236. *Résistance à un effort transversal, d'une pièce prismatique encastrée par une de ses extrémités et sollicitée à l'autre par une force unique* P. Le point d'encastrement étant évidemment celui où les fibres ui composent la pièce ont à supporter le plus grand effort, c'est pour e point qu'il faut calculer les dimensions de la pièce, dont la résistance totale se compose de la somme des résistances à la traction et à a compression de toutes les fibres qui composent la section d'encastrement. Il faut dire à la traction et à la compression; car des fibres ont tirées, d'autres comprimées, et il y a une ligne de *fibres invariables* qui sépare les précédentes.

Ce qui va suivre suppose que la résistance à la traction est égale à la

résistance à la compression, ce qui n'est vrai que dans les limites d'élasticité, c'est-à-dire dans les limites où les raccourcissements et allongements sont égaux entre eux et proportionnels aux charges (233, 234). Comme, dans la pratique, il ne faut jamais dépasser ces limites, les formules suivantes satisferont donc aux applications.

Le moment de résistance de la pièce, c'est-à-dire la somme des moments de résistance de toutes les fibres pris par rapport à la ligne des fibres invariables, est égal au moment de la force P pris par rapport à la section d'encastrement; on peut donc poser (*Int.*, 1418)

$$PL = \frac{RI}{n}. \quad (1)$$

L bras de levier de la force P, ou distance du point d'encastrement de la pièce au point d'application de P, si P agit normalement à la longueur de la pièce;

$\frac{RI}{n}$ moment de résistance de la pièce,

R plus grande résistance à la traction et à la compression, sans dépasser la limite d'élasticité, des fibres qui composent la section d'encastrement de la pièce;

I moment d'inertie de la section d'encastrement pris par rapport à la ligne des fibres invariables; on le représente par $\int v^2 d\omega$, c'est-à-dire qu'il est la somme des produits des divers éléments $d\omega$ qui composent la section de rupture par le carré de la distance variable v de chaque élément à la ligne des fibres invariables (101);

n distance de la ligne des fibres invariables au point de la section d'encastrement qui en est le plus éloigné. La ligne des fibres invariables passant par le centre de gravité de la section, il sera toujours facile de déterminer la valeur de n (*Int.*, 1435).

La flèche est donnée par la formule

$$\frac{PL^3}{3} = EIf. \quad (2)$$

E module ou coefficient d'élasticité (232 et 234);

EI *moment d'élasticité* de la pièce;

f flèche produite ou quantité dont s'abaisse le point d'application de P dans la direction de cette force.

Comme, pour une pièce prismatique à section rectangulaire, on a

$$n = \frac{h}{2} \quad \text{et} \quad I = \frac{bh^3}{12},$$

les deux formules fondamentales (1) et (2) deviennent, en remplaçant n et I par leurs valeurs,

$$PL = \frac{Rbh^2}{6}, \quad (1')$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebh^3f}{12}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{Ebh^3}; \quad (2')$$

largeur de la section transversale de la pièce, ou dimension de cette section perpendiculaire à la direction de la force P;
hauteur de la pièce, ou dimension de la section transversale parallèle à la direction de la force P.

Le membre $\frac{Rbh^2}{6}$ de l'équation (1') étant connu pour une pièce de section rectangulaire donnée, on en conclura la valeur de P ou celle de L, l'une ou l'autre de ces quantités étant connue. Si les valeurs de P et L étaient déterminées d'avance, de cette même équation on tirerait celles de b et h, en établissant entre b et h un rapport convenable à la pratique. Pour les pièces de fonte sans nervures, on fait $b=\frac{1}{12}h$ au minimum, $b=\frac{1}{4}h$ au maximum et $b=\frac{1}{8}h$ en moyenne. Pour le bois, on fait varier b entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{1}{2}$ de h, et même, pour les pièces isolées, il convient de faire $b=\frac{5}{7}h$.

P étant exprimé en kilogrammes, et les quantités L, b, h *et* f *en mètres, on a pour* E *et* R *les valeurs du tableau suivant; les premières valeurs de* R *sont les moyennes des cas ordinaires de la pratique, et les secondes supposent des matériaux de choix et des constructions plus légères* (247, 255, 256, 257).

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR DE E.	VALEUR DE R qu'on ne doit pas dépasser dans la pratique.
Chêne	1 200 000 000	550 000 à 750 000
Sapin jaune ou blanc	1 300 000 000	600 000 à 800 000
Arcs en planches	500 000 000	250 000 à 300 000
Fer doux forgé	20 000 000 000	6 000 000 à 10 000 000
Fer laminé en barres et tubes en tôle	12 000 000 000	4 700 000 à 7 800 000
Acier d'Allemagne	21 000 000 000	12 500 000 à 16 600 000
Acier fondu	30 000 000 000	16 600 000 à 22 000 000
Fonte grise à grain fin	12 000 000 000	7 500 000 à 10 000 000
Fonte grise ordinaire, anglaise	9 000 000 000	5 600 000 à 7 500 000

Application. Quelles doivent être les valeurs de h et b, d'une pièce de sapin encastrée par une extrémité, pour P = 500 kilog. et L = 1^m,50, en négligeant le poids de la pièce?

Faisant $b=\frac{5}{7}h$ et remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule (1'), on a

$$500\times1,5=\frac{600000\times5\times h^3}{7\times6}, \quad \text{d'où} \quad h=\sqrt[3]{\frac{500\times1,5\times7\times6}{600000\times5}}=0^m,219,$$

et par suite $$b = \frac{5}{7} \times 0{,}219 = 0^m{,}156.$$

On a $$f = \frac{4 \times 500 \times (1{,}5)^3}{1\,300\,000\,000 \times 0{,}156 \times (0{,}219)^3} = 0^m{,}0031.$$

Valeur de I *pour une pièce d'un profil quelconque.* Chacune des de parties séparées par la ligne des fibres invariables donne pour u pièce rectangulaire

$$I = \frac{bh^3}{24}.$$

Supposant la ligne des fibres invariables d'une résistance indéfini effet que produit chaque partie de la pièce par rapport à l'autre, pourra supprimer l'une des parties, et on aura $h = \frac{h}{2}$, et par suite

$$I = \frac{bh^3}{3}.$$

Cela établi, pour un profil quelconque, on déterminera son cent de gravité, soit par les moyens connus, soit par la formule de Simps (*Int.*, 1458); on mènera par ce centre de gravité la ligne figurant l fibres invariables; on divisera la longueur de cette ligne en un nomb pair m de parties égales, et par les points de division on mènera d perpendiculaires à cette ligne. m ayant été pris assez grand pour q l'on puisse considérer les profils compris entre les perpendiculai comme rectangulaires, chaque profil élémentaire, au-dessus ou a dessous de la ligne des fibres invariables, se trouvera dans les cond tions de la dernière formule, et pour l'ensemble des profils éléme taires compris d'un même côté de la ligne des fibres invariables. formule de Simpson donnera, $h_0, h_1, h_2 \ldots\ldots h_m$ étant les plus grand hauteurs des profils élémentaires,

$$I = \frac{b}{3 \times 3m}\left[h^3_0 + h^3_m + 4(h^3_1 + h^3_3 + \ldots + h^3_{m-1}) + 2(h^3_2 + h^3_4 + \ldots + h^3_{m-2}\right.$$

Pour la partie de profil située de l'autre côté de la ligne des fibres i variables, on calculera I par la même formule, dans laquelle il n'y au que les valeurs de h_0, $h_1 \ldots\ldots$ de changées; ajoutant ces deux valeu trouvées, on aura celle de I pour tout le profil.

La section du solide étant un parallélogramme dont la base b *perpendiculaire à la direction de* P, h *étant la hauteur du parallé gramme*, on a pour n, I, PL et f les mêmes expressions que pour section rectangulaire, qui n'est qu'un cas particulier de cette dernièr

Si la section transversale du solide est un carré dont le côté est a, dans le cas où il est fléchi dans le sens d'un côté,

$$n = \frac{q}{2} \quad \text{et} \quad I = \frac{q^4}{12};$$

les formules (1) et (2) deviennent alors

$$PL = \frac{Rq^3}{6},$$

et
$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Eq^4}{12} f, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{Eq^4}.$$

Fig. 48.

Si la coupe transversale du solide prismatique encastré par une de ses extrémités et sollicité à l'autre par la force P *a la forme indiquée fig.* 48, on a

$$n = \frac{h}{2}, \quad I = \frac{bh^3 - b'h'^3}{12},$$

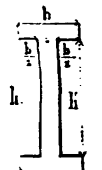
et les formules (1) et (2) deviennent

$$PL = \frac{R(bh^3 - b'h'^3)}{6h},$$

et
$$\frac{PL^3}{3} = \frac{E(bh^3 - b'h'^3)f}{12}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{E(bh^3 - b'h'^3)}.$$

Comme le font voir ces formules, ce solide est considéré comme étant la différence de deux autres.

Fig. 49.



Si le solide, au lieu d'être évidé au milieu, l'était latéralement, comme l'indique la *fig.* 49, on aurait encore

$$n = \frac{h}{2}, \quad I = \frac{bh^3 - b'h'^3}{12},$$

et
$$PL = \frac{R(bh^3 - b'h'^3)}{6h},$$

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{E(bh^3 - b'h'^3)f}{12}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{E(bh^3 - b'h'^3)}. \qquad (247)$$

TABLEAU des dimensions des profils des différents fers en double T, *à angles arrondis, des usines de la Providence et de Montataire; des poids par mètre courant de ces fers, et des valeurs de* $\frac{I}{n}$ *calculées par M. Morin. Les nervures étant les mêmes, on a* $n = \frac{h}{2}$. (Voir *Planchers*, cinquième partie).

DESIGNATION.	VALEUR DE (*fig.* 49) h	h'	b	b — b'	POIDS par mètre.	VALEUR DE $\frac{I}{n}$
	m	m	m	m	k	
Providence.	0.100	0.088	0.043	0.005	9.00	0.000 028 50
			0.045	0.007	12.00	0.000 031 84
Montataire.	0.100	0.085	0.042	0.010	8.06	0.000 037 25
			0.047	0.015	11.56	0.000 045 60
Providence.	0.120	0.106	0.045	0.004	11.00	0.000 040 48
			0.050	0.009	15.00	0 000 052 48
Montataire.	0.120	0.104	0.047	0.005	10.00	0.000 045 54
			0.050	0.010	14.28	0.000 057 54
Providence.	0.140	0.126	0.047	0.006	14.00	0.000 055 90
			0.053	0.012	20.00	0.000 075 46
Montataire.	0.140	0.123	0.050	0.007	13.00	0.000 078 03
			0.055	0.012	18.00	0.000 084 54
Providence.	0.160	0.144	0.048	0.007	15.00	0.000 077 27
			0.053	0.012	25.00	0.000 098 60
Montataire.	0.160	0.142	0.055	0.007	16.50	0.000 115 19
			0.062	0.014	25.00	0.000 130 31
Providence.	0.180	0.162	0.055	0.008	20.00	0.000 111 98
			0.062	0.015	30.00	0.000 149 78
Montataire.	0.180	0.162	0.060	0 008	20.00	0.000 119 25
			0.067	0.015	30.00	0.000 157 09
Montataire.	0.200	0.181	0.065	0.008	22.00	0.000 151 67
			0.073	0.016	34.40	0.000 205 04
Providence.	0.220	0.200	0.064	0.009	26.00	0.000 182 24
			0.071	0.016	40.00	0.000 238 71
Montataire.	0.220	0.201	0.065	0.008	24.30	0.000 173 66
			0.073	0.016	37.46	0.000 238 20
Providence.	0.260	0.236	0.067	0.013	40.00	0.000 299 74
			0.074	0.020	58.00	0.000 378 60

Dans le cas où les nervures b *sont renforcées par des cornières*, comme cela arrive pour les poutres en tôle employées à la construction des ponts (*fig.* 50), on a

Fig. 50.

$$n = \frac{h}{2}, \quad I = \frac{bh^3 - (b'h'^3 + b''h''^3 + b'''h'''^3)}{12},$$

$$PL = \frac{R(bh^3 - b'h'^3 - b''h''^3 - b'''h'''^3)}{6h},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{E(bh^3 - b'h'^3 - b''h''^3 - b'''h'''^3)f}{12},$$

d'où $$f=\frac{4PL^3}{E(bh^3-b'h'^3-b''h''^3-b'''h'''^3)}.$$

Quand la section de la pièce n'a pas d'axe de symétrie horizontal, la ligne des fibres n'est pas au milieu de la hauteur de la pièce, c'est-à-dire qu'on n'a pas $n=\frac{h}{2}$; alors on a recours à la marche indiquée page 296 pour une section quelconque ; seulement les formes rectangulaires des différentes parties du profil permettent d'abréger considérablement les calculs, soit pour obtenir n, en faisant usage des moments (*Int.*, 1437), soit pour déterminer la valeur de I.

Fig. 51.

Dans le cas où la section transversale a la forme d'un T, comme l'indique la *fig.* 51, on obtient

$$n=\frac{1}{2}\times\frac{bh'^2-b'h'^2+b'h^2}{bh'-b'h'+b'h},$$

$$I=\frac{1}{3}\left[bn^3-(b-b')(n-h')^3+b'(h-n)^3\right],$$

$$PL=\frac{R}{3}\times\frac{bn^3-(b-b')(n-h')^3+b'(h-n)^3}{h-n},$$

$$\frac{PL^3}{3}EIf.\quad \text{d'où}\quad f=\frac{PL^3}{E[bn^3-(b-b')(n-h')^3+b'(h-n)^3]}.$$

Fig. 52.

La section du solide étant un parallélogramme dont la diagonale b *est perpendiculaire à la direction de la force* P, *fig.* 52, on a

$$n=h\quad\text{et}\quad I=\frac{bh^3}{6};$$

Les formules (1) et (2) deviennent

$$PL=\frac{Rbh^2}{6},$$

et $$\frac{PL^3}{3}=\frac{Ebh^3f}{6},\quad \text{d'où}\quad f=\frac{2PL^3}{Ebh^3}.$$

Si la section était un carré ayant q *pour côté*, on aurait $b=\frac{2q}{\sqrt{2}}$ et $h=\frac{q}{\sqrt{2}}$, et ces valeurs, substituées dans les formules précédentes, donneraient

$$PL=\frac{Rq^3}{6\sqrt{2}},$$

et $$\frac{PL^3}{3}=\frac{Eq^4f}{12},\quad \text{ou}\quad f=\frac{4PL^3}{Eq^4}.$$

La flèche est la même que si la pièce était fléchie dans le sens des côtés de la section (voir ce cas, page 297).

Fig. 53.

Si la section est un losange ABCD (*fig.* 53), les formules sont les mêmes que pour le parallélogramme (*fig.* 52).

Pour une section triangulaire ABD, moitié du losange (*fig.* 53), on aurait, b étant toujours égal à AC, et h à $\frac{BD}{2}$,

$$PL = \frac{Rbh^2}{12},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebh^3f}{12}, \quad \text{d'ou} \quad f = \frac{4PL^3}{Ebh^3}.$$

Ce qui fait voir que les valeurs de PL et f sont respectivement moitié et doubles de celles données par le losange entier.

Lorsque la section d'un solide est un triangle ABC (*fig.* 53), et que la ligne d'inertie ou des fibres invariables MN est parallèle à l'un des côtés, on a

$$n = \frac{2}{3}h \quad \text{et} \quad I = \frac{1}{36}bh^3;$$

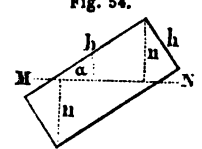
d'où l'on conclut, en substituant ces valeurs dans les formules (1) et (2)

$$PL = \frac{Rbh^2}{24},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebh^3f}{36}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{12PL^3}{Ebh^3}.$$

Fig. 54.



La section du solide étant un rectangle disposé de manière que la ligne d'inertie MN *fait avec le côté* b *un angle* α (*fig.* 54), on a (Int. 995) :

$$n = \frac{1}{2}(b \sin\alpha + h\cos\alpha) \quad \text{et} \quad I = \frac{Rbh}{12}(b^2\sin^2\alpha + h^2\cos^2\alpha);$$

d'où l'on conclut, pour les formules (1) et (2),

$$PL = \frac{Rbh}{6} \times \frac{b^2\sin^2\alpha + h^2\cos^2\alpha}{b\sin\alpha + h\cos\alpha},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebhf}{12}(b^2\sin^2\alpha + h^2\cos^2\alpha), \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{Ebh(b^2\sin^2\alpha + h^2\cos^2\alpha)}$$

Si $\alpha = 0$, on a $\sin \alpha = 0$, $\cos \alpha = 1$, et par suite

$$PL = \frac{Rbh^2}{6},$$

t
$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebh^3f}{12}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{Ebh^3};$$

aleurs déjà trouvées, page 294, pour la section rectangulaire, quand
a pièce est fléchie dans le sens des côtés de cette section.

La section du solide étant un cercle de rayon r, on a

$$n = r \quad \text{et} \quad I = \frac{\pi r^4}{4};$$

e qui donne, pour les formules (1) et (2),

$$PL = \frac{R\pi r^3}{4},$$

t
$$\frac{PL^3}{3} = \frac{\pi E r^4 f}{4}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{3\pi E r^4}.$$

De ce qui précède, il résulte que le moment de résistance du carré
st à celui du cercle inscrit dans le rapport de 1 à $\frac{3\pi}{16}$.

Si le solide est un cylindre creux, r étant son rayon extérieur et
son rayon intérieur, on a

$$n = r \quad \text{et} \quad I = \frac{\pi}{4}(r^4 - r'^4),$$

où l'on conclut, pour les formules (1) et (2),

$$PL = \frac{R\pi(r^4 - r'^4)}{4r},$$

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{\pi E f}{4}(r^4 - r'^4), \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{3\pi E(r^4 - r'^4)}.$$

Pour $r' = mr$, il vient

$$PL = \frac{R\pi}{4} r^3(1 - m^4), \quad \text{et} \quad f = \frac{4PL^3}{3\pi E r^4(1 - m^4)}.$$

En faisant $r' = 0$ ou $m = 0$ dans ces formules, on obtiendrait celles
onnées pour le cylindre plein.

Pour un solide à section elliptique dont $2h$ est l'axe vertical et $2b$
axe horizontal (*Int.*, 1041), on a

$$n = h, \quad I = \frac{\pi}{4} bh^3,$$

t les formules (1) et (2) deviennent

$$PL = \frac{R\pi bh^2}{4},$$

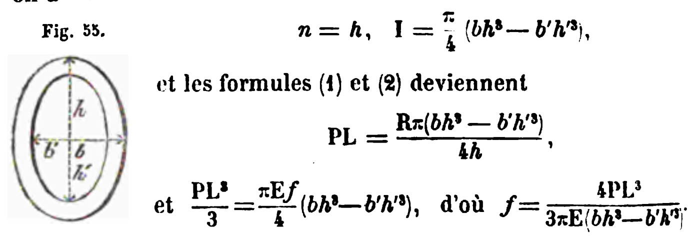
et $$\frac{PL^3}{3} = \frac{\pi E b h^3 f}{4}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{3\pi E b h^3}.$$

Pour $b = h$, on rentrerait dans les formules relatives à la section circulaire.

Pour un solide creux à section elliptique, $2h$ et $2b$ étant les axes de l'ellipse extérieure, et $2h'$ et $2b'$ ceux de l'ellipse intérieure (*fig.* 55), on a

Fig. 55.

$$n = h, \quad I = \frac{\pi}{4}(bh^3 - b'h'^3),$$



et les formules (1) et (2) deviennent

$$PL = \frac{R\pi(bh^3 - b'h'^3)}{4h},$$

et $$\frac{PL^3}{3} = \frac{\pi E f}{4}(bh^3 - b'h'^3), \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{3\pi E(bh^3 - b'h'^3)}.$$

Si les ellipses intérieure et extérieure sont semblables, c'est-à-dire si l'on a $b' = mb$ et $h' = mh$, les formules précédentes donnent

$$PL = \frac{R\pi}{4} bh^2(1 - m^4), \quad \text{et} \quad f = \frac{4PL^3}{3\pi E bh^3(1 - m^4)}.$$

Pour $b' = h' = 0$, c'est-à-dire pour $m = 0$, les formules précédentes deviennent celles posées pour la section elliptique pleine, et pour $b = h$ et $b' = h'$, elles fournissent les formules relatives aux sections circulaires, ce qui devait évidemment arriver.

237. *Si la pièce encastrée par une de ses extrémités était sollicitée par plusieurs forces* p, p', p''... *ayant* l, l', l''... *pour bras de levier*, il suffirait de remplacer PL par $pl + p'l' + p''l'' + \ldots$ dans les formules $PL = \frac{RI}{n}$ du numéro précédent.

Si les forces agissaient les unes dans un sens et les autres en sens contraire, il suffirait de donner au moment de chaque force le signe qui lui convient dans la somme algébrique $pl + p'l' + p''l'' + \ldots$

238. *Si la pièce repose sur un appui placé en un des points de sa longueur, et qu'elle soit sollicitée à ses extrémités par deux forces qui se font équilibre autour de ce point d'appui*, on a, pour une pièce prismatique à section rectangulaire, en remarquant que chaque force produit par rapport à l'autre le même effet qu'un encastrement au point d'appui,

$$pl = ql' = \frac{pl + ql'}{2} = \frac{Rbh^2}{6}. \quad \text{(n° 236, page 294.)}$$

l bras de levier de la force p qui sollicite une des extrémités de la pièce;
l' bras de levier de la force q qui sollicite l'autre extrémité de la pièce;
$l + l' = \mathrm{L}$ longueur de la pièce;
$p + q = \mathrm{P}$ charge totale que supporte la pièce.

Si le point d'appui est au milieu de la longueur de la pièce, on a $l = l' = \frac{\mathrm{L}}{2}$, par suite, $p = q = \frac{\mathrm{P}}{2}$, et la formule précédente devient

$$\frac{\mathrm{PL}}{4} = \frac{\mathrm{R}bh^2}{6}.$$

Pour les autres sections de pièce, il suffirait de remplacer PL par pl ou ql' ou $\frac{pl + ql'}{2}$ dans les formules du n° 236, ou encore par $\frac{\mathrm{PL}}{4}$ si le point d'appui est au milieu de la longueur de la pièce.

239. *La charge sollicitant une pièce prismatique encastrée par une de ses extrémités, au lieu d'être appliquée à l'extrémité de la pièce, peut être répartie uniformément sur toute sa longueur.* Dans ce cas, les deux formules fondamentales (1) et (2) du n° 236 deviennent

$$p\mathrm{L} \times \frac{\mathrm{L}}{2} = \frac{\mathrm{RI}}{n} \quad \text{ou} \quad \frac{p\mathrm{L}^2}{2} = \frac{\mathrm{RI}}{n}, \qquad (1)$$

et

$$\frac{1}{8}\, p\mathrm{L} \times \mathrm{L}^3 = \mathrm{EI}f \quad \text{ou} \quad \frac{p\mathrm{L}^4}{8} = \mathrm{EI}f. \qquad (2)$$

Les lettres L, R, I, n, E et f ont les mêmes significations qu'au n° 236;
p charge par mètre de longueur de la pièce; c'est, par exemple, le poids de chaque mètre de longueur de la pièce;
$p\mathrm{L}$ charge totale;
$\frac{\mathrm{L}}{2}$ bras de levier de la résultante du poids total $p\mathrm{L}$.

En comparant la formule précédente (1) avec la formule analogue (1) du n° 236, on voit qu'une même pièce peut supporter une charge totale $p\mathrm{L}$, répartie uniformément sur toute sa longueur, double de la charge P qu'elle supporte quand P est appliquée à l'extrémité de sa longueur, et en comparant la formule précédente (2) avec la formule analogue (2) du n° 236, on voit qu'une même pièce donne, pour une charge égale, une flèche f qui n'est, pour le cas où la charge est uniformément répartie, que les 3/8 de celle produite par la même charge appliquée à l'extrémité de la pièce; ce qui revient à dire que pour produire une même flèche, la charge uniformément répartie doit être au poids unique appliqué à l'extrémité de la pièce dans le rapport de 8 à 3.

En remplaçant, dans les formules (1) et (2), n et I par les différentes

valeurs qui conviennent aux formes des sections transversales des pièces, on obtiendra des formules semblables à celles du n° 236; ainsi, pour une pièce prismatique à section rectangulaire, on aura

$$\frac{pL^2}{2} = \frac{Rbh^2}{6},$$

et $$\frac{pL^4}{8} = \frac{Ebh^3f}{12}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{3pL^4}{2Ebh^3}.$$

Pour les données de l'application de la page 295, c'est-à-dire pour $L = 1^m,50$ et $pL = 500$ kilog., remplaçant les lettres par leurs valeurs dans les formules précédentes, on tire $h = 0^m,174$, $b = 0,124$ et $f = 0^m,0031$.

240. *La pièce peut être chargée d'un poids* P *appliqué à son extrémité, et d'un poids* pL *réparti uniformément sur toute sa longueur.* Ce cas se présente particulièrement toutes les fois, qu'outre le poids P, on est obligé de tenir compte du poids de la pièce prismatique. Dans ce cas, les formules (1) et (2) des n°s 236 et 239 deviennent, en conservant aux lettres les mêmes significations,

$$PL + \frac{pL^2}{2} = \frac{RI}{n} \quad \text{ou} \quad \left(P + \frac{pL}{2}\right)L = \frac{RI}{n}, \tag{1}$$

et $$\frac{PL^3}{3} + \frac{pL^4}{8} = EIf \quad \text{ou} \quad \left(\frac{P}{3} + \frac{pL}{8}\right)L^3 = EIf. \tag{2}$$

En remplaçant n et I par les valeurs qui conviennent aux sections des pièces, on obtient des formules semblables à celles des n°s 236 et 239; ainsi, pour une pièce à section rectangulaire, on a

$$\left(P + \frac{pL}{2}\right)L = \frac{Rbh^2}{6},$$

et $$\left(\frac{P}{3} + \frac{pL}{8}\right)L^3 = \frac{Ebh^3f}{12}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{12\left(\frac{P}{3} + \frac{pL}{8}\right)L^3}{Ebh^3}.$$

241. *Pièce reposant sur deux appuis placés à ses extrémités.* Supposons d'abord que l'on puisse négliger le poids de la pièce, et qu'elle soit chargée d'un poids P placé au milieu de sa longueur. Dans ce cas, la pièce travaillant comme si elle était encastrée au milieu de sa longueur et sollicitée à chacune de ses extrémités par une force égale à $\frac{P}{2}$, toutes les formules posées au n° 236 se reproduiront; seulement P sera remplacé par $\frac{P}{2}$ et L par $\frac{L}{2}$; ainsi, pour une pièce prismatique, les deux formules fondamentales (1) et (2) deviendront, en conservant aux lettres les mêmes significations,

$$\frac{PL}{4} = \frac{RI}{n}, \quad (1) \qquad \text{et} \qquad \frac{PL^3}{48} = EIf. \quad (2)$$

Comparant ces formules avec celles (1) et (2) obtenues n° 236, on ‹it qu'une même pièce supporte, dans le cas où elle repose sur deux ›puis, une charge quatre fois plus grande que quand elle est seulement encastrée par une extrémité et chargée à l'autre, et que, ›ur un même poids, la flèche est seize fois plus petite.

Remplaçant n et I par les valeurs qui conviennent aux sections ansversales des pièces, on obtiendra des formules semblables à lles posées au n° 236; ainsi, pour une pièce à section rectangu-ire, on a

$$\frac{PL}{4} = \frac{Rbh^2}{6},$$

$$\frac{PL^3}{48} = \frac{Ebh^3f}{12}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{PL^3}{4Ebh^3}.$$

242. *Si la charge est uniformément répartie sur toute la longueur* ‹*la pièce*, p étant la charge par mètre de longueur, la charge totale ‹ pL, dont la moitié est $\frac{pL}{2}$, et les formules fondamentales (1) et (241) deviennent

$$\frac{pL^2}{8} = \frac{RI}{n}, \quad (1)$$

$$\frac{1}{48} \times \frac{5}{8} pL^4 = EIf, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{5pL^4}{384EI}. \quad (2)$$

‹es formules font voir que le poids pL est double de celui supporté ‹ la même pièce chargée en son milieu, et que la flèche est les ‹ de celle produite par le même poids appliqué au milieu de la ‹gueur de la pièce.

Pour une pièce prismatique à section rectangulaire, on a, en rem-çant n et I par les valeurs qui conviennent à cette section (236),

$$\frac{pL^2}{8} = \frac{Rbh^2}{6},$$

$$\frac{1}{48} \times \frac{5}{8} pL^4 = \frac{Ebh^3f}{12}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{\frac{5}{8} pL^4}{4Ebh^3} = \frac{5pL^4}{32Ebh^3}.$$

243. *Si la pièce était chargée d'un poids* P *au milieu de sa longueur,* ‹*un poids* p *par mètre réparti uniformément sur sa longueur*, on ‹ait (241 et 242),

$$\frac{PL}{4} + \frac{pL^2}{8} \quad \text{ou} \quad \left(P + \frac{pL}{2}\right)\frac{L}{4} = \frac{RI}{n}, \quad (1)$$

$$\frac{PL^3}{48} + \frac{1}{48} \times \frac{5}{8} pL^4 \quad \text{ou} \quad \left(P + \frac{5}{8} pL\right)\frac{L^3}{48} = EIf. \quad (2)$$

Pour une pièce prismatique à section rectangulaire on a donc remplaçant n et I par leurs valeurs (236),

$$\left(P+\frac{pL}{2}\right)\frac{L}{4}=\frac{Rbh^2}{6},$$

et $$\left(P+\frac{5}{8}pL\right)\frac{L^3}{48}=\frac{Ebh^3f}{12},\quad \text{d'où}\quad f=\frac{\left(P+\frac{5}{8}pL\right)L^3}{4Ebh^3}.$$

244. *La pièce reposant toujours sur deux appuis*, il peut arriver le poids unique P qu'elle supporte soit placé en un point quelconque de sa longueur. On a alors

$$\frac{Pll'}{L}=\frac{RI}{n}.$$

l et l' distances du point d'application de P aux appuis, $l+l'=L$.

Pour une pièce à section rectangulaire, on a, en remplaçant n et I par leurs valeurs (236),

$$\frac{Pll'}{L}=\frac{Rbh^2}{6}.$$

Si le poids était appliqué au milieu de L, on aurait $l=l'=$

et cette valeur, substituée dans ces deux dernières formules, reproduirait les formules déjà trouvées pour ce cas au n° 241.

La pièce étant chargée, en outre du poids P placé en un point quelconque de sa longueur, d'un poids p par mètre réparti uniformément, on a

$$\left(P+\frac{pL}{2}\right)\frac{ll'}{L}=\frac{RI}{n}.$$

Pour une pièce à section rectangulaire, cette formule devient, remplaçant n et I par leurs valeurs (236),

$$\left(P+\frac{pL}{2}\right)\frac{ll'}{L}=\frac{Rbh^2}{6}.$$

Pour $l=l'=\frac{L}{2}$, c'est-à-dire pour le cas où P est placé au milieu de la longueur de la pièce, ces deux formules fournissent celles trouvées pour cette manière d'être chargée de la pièce (243).

245. *Pièce prismatique dont une extrémité est encastrée, tandis que l'autre repose librement sur un appui.* Représentons par

- P un poids placé en un point quelconque de la pièce;
- p une charge par mètre répartie uniformément sur toute la longueur de la pièce;
- L la longueur de la pièce;
- l et l' les distances respectives du point d'application du poids P au point d'encastrement et au point d'appui;
- q la pression exercée par la pièce sur le point d'appui.

Pour un point quelconque pris sur l, on a, en désignant par x sa distance au point d'encastrement, et en supposant que la section de la pièce est rectangulaire (236),

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = P(l-x) + \frac{p}{2}(L-x)^2 - q(L-x). \qquad (a)$$

Si le point est pris sur l', et à une distance x' du point d'encastrement, le moment de résistance est, en supposant la pièce à section rectangulaire,

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = \frac{p}{2}(L-x')^2 - q(L-x').$$

On a

$$q = \frac{3pL}{8} + \frac{Pl^2}{2L^3}(3L-l).$$

Suivant que P ou p sera nul, la valeur de q se réduira respectivement au premier ou au deuxième terme du second membre de cette équation; ainsi, supposant $P=0$, on a

$$q = \frac{3pL}{8},$$

et la formule (a) devient

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = \frac{p}{2}(L-x)^2 - \frac{3pL}{8}(L-x) = \frac{p}{2}(L-x)\left(\frac{L}{4}-x\right). \qquad (b)$$

Ce qui fait voir que pour les points qui donnent $x=L$ et $x=\frac{L}{4}$, le moment de résistance est nul; ainsi, pour le point qui repose sur l'appui et pour celui situé à la distance $x=\frac{L}{4}$ du point d'encastrement, la charge p pourrait être infinie; ce dernier point est celui d'inflexion de la pièce : c'est le point analogue au point M (*fig.* 56, n° 246).

Le point de plus grande flexion, c'est-à-dire le point où la flèche est la plus grande, est à une distance $x=\frac{5}{8}L$ du point d'encastrement. Cette valeur de x, substituée dans la formule (b), donne

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = \frac{9}{128}pL^2.$$

La formule (b) fait voir aussi que le moment de résistance est d'autant plus grand que x est plus petit, et que pour $x=0$, c'est-à-dire pour le point d'encastrement, on a

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = \frac{pL^2}{8} = \frac{16}{128}pL^2,$$

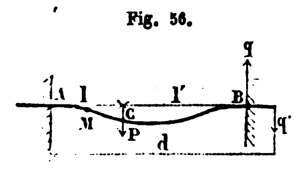
Cette valeur de $\frac{RI}{n}$, comparée à la précédente, fait voir qu'une pièce prismatique fatigue plus au point d'encastrement qu'au point même de plus grande flèche.

Cette plus grande flèche est donnée par la formule

$$EIf = 0{,}0067pL^4, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{0{,}0067pL^4}{EI}.$$

246. *Pièce prismatique encastrée par ses deux extrémités.* Soit, *fig.* 56 :

Fig. 56.



- P — un poids placé en un point quelconque C de la pièce;
- p — une charge par mètre répartie uniformément sur toute la longueur de la pièce;
- $L = l + l'$ — la longueur de la pièce entre les encastrements;
- l et l' — les distances respectives du point C aux points d'encastrement A et B;
- q et q' — les forces verticales capables de produire le même effet que l'encastrement, c'est-à-dire de maintenir horizontal l'élément B de la pièce;
- d — la distance de l'encastrement A à l'extrémité opposée de la pièce;
- x — la distance horizontale d'un point quelconque de la partie AC au point A;
- x' — la distance horizontale d'un point quelconque de CB au point A.

On a, pour un point pris sur AC,

$$\frac{RI}{n} = P(l - x) + \frac{p}{2}(L - x)^2 - q(L - x) + q'(d - x). \qquad (a)$$

Si le point est pris sur CB, on a

$$\frac{RI}{n} = \frac{p}{2}(L - x')^2 - q(L - x') + q'(d - x').$$

Pour une pièce rectangulaire en x, on a $\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6}$ (236).

Lorsque $x = x' = l$, les deux valeurs précédentes du moment d'inertie deviennent égales ; ce qui devait être, puisqu'alors x et x' se rapportent au même point C de la pièce.

On a
$$\frac{qL^2}{2} - q'L\left(d - \frac{L}{2}\right) = \frac{pL^3}{6} + \frac{Pl^2}{2}, \qquad (b)$$

et
$$\frac{qL^3}{3} + \frac{q'L^2}{2}\left(d - \frac{L}{3}\right) = \frac{pL^4}{8} + \frac{Pl^2}{2}\left(L - \frac{l}{3}\right). \qquad (c)$$

Ces deux équations serviront à déterminer q et q' ; ainsi, de la première, on tirera la valeur de q en fonction de q' ; on substituera cette valeur dans la deuxième, qui donnera la valeur numérique de q', et cette valeur numérique étant substituée dans la première équation

qui ne renfermera plus que l'inconnue q, on pourra tirer la valeur de cette inconnue (*Int.*, 456).

Dans le cas où p est nul, la formule (a) devient

$$\frac{RI}{n} = Pl - qL + q'd - (P - q + q')x.$$

Cette équation du premier degré en x fait voir que le point de plus grande fatigue de la pièce est celui pour lequel x a la plus grande valeur l ou la plus petite 0 ; c'est donc C ou A, points pour lesquels les valeurs respectives S et S' de $\frac{RI}{n}$ deviennent

$$S = q'd - qL + (q - q')l \quad \text{et} \quad S' = Pl - qL + q'd.$$

Faisant $p = 0$ dans les équations (b) et (c), on en conclut

$$q = \frac{Pl^2(3Ld - 2L^2 + lL - 2ld)}{L^3(d - L)} \quad \text{et} \quad q' = \frac{Pl^2(L - l)}{L^2(d - L)}.$$

Les moments S et S' deviennent, en remplaçant q et q' par ces valeurs,

$$S = -\frac{2Pl^2(L - l)^2}{L^3} \quad \text{et} \quad S' = \frac{Pl(L - l)^2}{L^2}.$$

Faisant les calculs, on verra quelle sera la plus grande de ces valeurs, et ce sera pour elle qu'il faudra prendre les dimensions de la pièce. Pour avoir les moments de la partie CB, il suffit de remplacer l par l' dans les équations précédentes.

Si le poids P *est placé au milieu de la longueur de la pièce*, c'est-à-dire si $l = \frac{L}{2}$, on a

$$S = S' = \frac{RI}{n} = \frac{PL}{8};$$

ce qui fait voir que la charge que peut supporter la pièce est double de celle qu'elle supporte quand elle repose simplement sur deux appuis.

La flèche est donnée par la formule

$$EIf = \frac{PL^3}{192}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{PL^3}{192EI}. \qquad (236)$$

Ce qui fait voir que la flèche est quatre fois plus petite que quand la pièce repose simplement sur deux appuis (241).

Pour le point d'inflexion M, on a $x = \frac{L}{4}$.

Quand $P = 0$, *et que la pièce est uniformément chargée d'un poids* p *par mètre de longueur*, des deux équations (b) et (c) on conclut

$$q = \frac{1}{12}\frac{pL}{d-L}(6d-5L), \quad \text{et} \quad q' = \frac{1}{12}\frac{pL^2}{d-L}.$$

Ces valeurs, substituées dans la formule (a), où l'on suppose également $P=0$, donnent

$$\frac{RI}{n} = \frac{1}{12}p(L^2 - 6Lx + 6x^2) = \frac{p}{2}\left[\left(\frac{L}{2}-x\right)^2 - \frac{L^2}{12}\right].$$

Ce qui fait voir que la valeur maxima du moment de résistance correspond à $x=0$, c'est-à-dire au point A, pour lequel on a par conséquent

$$\frac{RI}{n} = \frac{pL^2}{12}.$$

On voit aussi que ce moment diminue à mesure que x augmente, et qu'il est égal à 0 quand

$$\left(\frac{L}{2}-x\right)^2 = \frac{L^2}{12}, \text{ c'est-à-dire quand } x = 0,212L.$$

A partir de $x=0,212L$, le moment de résistance devient négatif et sa valeur absolue croît jusqu'au milieu de la pièce, pour lequel $x=\frac{L}{2}$, et par suite

$$\frac{RI}{n} = \frac{pL^2}{24}.$$

Tout étant symétrique par rapport au milieu de la pièce, au delà de ce point, le moment de rupture repasse par les mêmes valeurs.

La flèche est donnée par la formule

$$EIf = \frac{1}{48} \times \frac{1}{8}pL^4, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{pL^4}{384EI}.$$

Ainsi, la flèche n'est que le 1/5 de celle qui a lieu, pour le même poids, quand la pièce repose librement sur deux appuis (242).

Dans les constructions, les poutres n'étant en général prises dans les murs que de $0^m,30$ à $0^m,50$ au plus, cela ne suffit pas pour produire un encastrement complet, et il est prudent de supposer que les pièces reposent sur deux appuis (241).

247. *Remarque* 1re. Dans les limites de charge où l'élasticité n'est pas altérée, et qui sont celles que supposent les formules précédentes, qu'il convient d'adopter dans la pratique, la fonte et le fer résistant également à l'extension et à la compression (232 et 234), il en résulte que pour les poutres à simple T, il est indifférent de placer la nervure horizontale en dessus ou en dessous. Pour la rupture, la nervure se place en dessus ou en dessous, suivant que la résistance de la matière

à la rupture est plus grande ou plus petite pour l'extension que pour la compression (page 299).

Par les mêmes raisons, dans les poutres à double T, les nervures doivent être les mêmes dans les limites de la pratique. Cependant, eu égard à ce que la fonte résiste bien mieux à la rupture par compression que par traction, les ingénieurs anglais, dans les poutres de pont, donnent à la nervure inférieure une étendue beaucoup plus grande qu'à la nervure supérieure.

Les proportions admises comme les plus convenables sont les suivantes :

Épaisseur du corps de la poutre.		1
Hauteur totale h de la poutre.		12
Épaisseur de la semelle inférieure.		2.5
Id.	*id.* supérieure.	1.2
Largeur totale de la semelle inférieure.		25
Id.	*id.* supérieure.	8.7

Le centre de gravité de la section est à peu près au 1/4 de la hauteur h, en sorte que la plus grande compression des fibres de la semelle supérieure est égale à environ 3 fois la plus grande tension des fibres de la semelle inférieure.

2°. Il est prudent de ne faire travailler les poutres en fonte soumises à des vibrations, comme celles des ponts de chemin de fer, qu'au 1/5 et même au 1/6 de la charge de rupture. Pour les ponts ordinaires, on va jusqu'au 1/4. La résistance moyenne de la fonte à la rupture par flexion étant 32 441 000 kil., on fera dans les formules précédentes R égal au 1/5, ou au 1/6, ou au 1/4 de ce nombre, selon les cas. Des ingénieurs font souvent $R = 7\,500\,000$ pour les pièces ordinaires de machines, $R = 3\,000\,000$ pour les arbres de roues hydrauliques et les poutres de ponts ordinaires, et $R = 2\,000\,000$ et quelquefois moins pour les ponts de chemin de fer (236, 255, 256, 257).

Des expériences faites par M. Baumgarten sur des poutres en fonte d'une certaine dimension et non sur de petits échantillons, ont conduit à des valeurs moindres pour la charge de rupture R et pour le coefficient d'élasticité E ; on a obtenu en moyenne $R = 27\,400\,000$ et $E = 9\,595\,000\,000$. Ces nombres vérifient ceux obtenus avant sur le viaduc de Tarascon et consignés dans un rapport de MM. Collet-Meygret et Desplaces.

3°. On admet que la flexion des poutres en fonte ne doit pas dépasser 1/600 de la portée, et qu'il conviendrait de la limiter à 1/2000.

4°. Les ingénieurs anglais pensent que la charge d'un pont varie de 5 000 à 6 655 kilog. par mètre de longueur de paire de rails. La charge d'épreuve excède rarement le 1/3 de celle de rupture, et on préfère souvent n'aller qu'à la charge réelle maximum, en observant les flexions.

5°. Des expériences de M. Fairbairn, il résulte que les flexions s encore proportionnelles aux charges pour les poutres en fer à dou T, et que le coefficient d'élasticité est E = 11 502 000 000.

Des expériences récentes faites au Conservatoire des arts et n tiers sur des poutres en chêne, en sapin, en fer à double T et à melles égales, en fonte à double T et à semelles égales, et en font double T et à semelles inégales, ont également donné des flexi sensiblement proportionnelles aux charges.

6°. Des expériences de M. Fairbairn sur des tubes en tôle ont don E = 16 600 000 000 jusqu'à une flexion de 1/378 de la portée. Le prem grand tube en tôle du pont de Conway a donné E = 13 185 000 Les ingénieurs anglais admettent que la résistance de la tôle à la ru ture est, par mètre carré, 28 680 000k pour la traction, et 23 290 pour la compression, nombres qui sont sensiblement dans le ra port de 5 à 4. Dans la pratique, on peut supposer ces deux résistan égales et faire R = 6 000 000 kil.

248. *Formules pratiques relatives aux tourillons.* Des expérien de Buchanan, il résulte que le diamètre d'un tourillon en fonte e pour résister à la flexion, donné par la formule

$$d = k\sqrt[3]{P},$$

et celui des tourillons en fer par celle

$$d = k\sqrt[3]{\frac{9}{14}P} = 0{,}863k\sqrt[3]{P}.$$

d diamètre du tourillon, en centimètres;

k coefficient variable de 0,87 à 0.95 d'après les observations de Buchanan, et de 0, à 0,85 d'après celles de Tredgold. On pourra considérer la valeur maxima Buchanan comme convenable aux tourillons soumis à des réactions brusq comme ceux des arbres à cames; on pourra la réduire à 0.85 pour les ro hydrauliques. Dans les machines à vapeur, on peut faire, d'après Roberts $k = 0{,}69$, en augmentant de 1/8 pour l'usé, et encore cette règle donne diamètres trop forts pour les machines d'une puissance supérieure à 20 chev

P charge du tourillon ou pression qu'il exerce sur son coussinet, exprimée en ki grammes.

Ces deux formules font voir que la résistance à la flexion d'un tou rillon en fonte est à celle d'un tourillon en fer de même diamèt dans le rapport de 9 à 14; ainsi, faisant $k = 0{,}80$ pour la fonte, diamètre d'un tourillon en fer placé dans les mêmes conditions ser donné par la formule

$$d = 0{,}80 \times 0{,}863\sqrt[3]{P} = 0{,}69\sqrt[3]{P}.$$

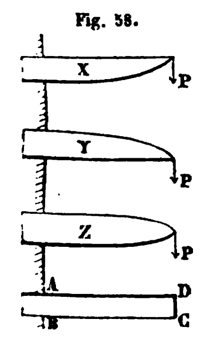
La longueur convenable des tourillons est, d'après Tredgold, égal

à 1,2 fois le diamètre; ce sont en effet les proportions généralement adoptées dans la pratique, à l'exception des tourillons en fer dont le diamètre est inférieur à 0^m,07, pour lesquels la longueur se prend le plus souvent égale 1,5 fois le diamètre, on va même 2 fois pour les petits diamètres.

249. *Solides d'égale résistance.* Quand une pièce est encastrée par une extrémité et chargée à l'autre d'un poids P, le moment de cette force P, pour rompre la pièce en un point quelconque, est d'autant plus petit que ce point est plus éloigné de l'encastrement; de là il résulte que pour ne pas employer de matière inutile, les sections transversales de la pièce doivent aller en diminuant depuis l'encastrement jusqu'au point d'application du poids, point où la section devient nulle.

La formule $PL = \frac{Rbh^2}{6}$, donnée pour une pièce rectangulaire (236), est applicable à un point quelconque de la longueur de la pièce; alors, supposant que la hauteur h reste constante, et résolvant l'équation par rapport à b, on aura, pour une valeur quelconque l de L,

$$b = \frac{6P}{Rh^2}\, l.$$



Ce qui fait voir que la largeur du solide sera proportionnelle à l; ainsi, le solide étant représenté en élévation par le rectangle ABCD (*fig.* 57), dont la dimension AB $= h$, il le sera en plan par le triangle EFG.

Supposant au contraire que la largeur b reste constante, et résolvant l'équation par rapport à h, on aura, pour une valeur quelconque l de L,

$$h^2 = \frac{6P}{Rb}\, l,$$

c'est-à-dire que le carré de la hauteur h sera proportionnel à l, et la pièce qui est représentée en plan par le rectangle ABCD (*fig.* 58), dont la dimension AB $= b$, le sera en élévation par l'une quelconque des trois formes paraboliques X, Y, Z, dont le sommet est au point d'application de la force P (*Int.*, 1110).

On peut, en suivant une marche analogue, déterminer la forme des solides d'égale résistance, pour toutes les manières dont peuvent reposer les solides et quelle que soit la manière dont ils sont chargés.

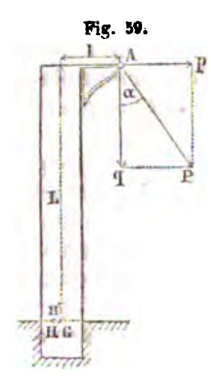


Fig. 59.

250. *Pièce soumise à une force P appliquée en un point quelconque A de la pièce, et faisant avec la direction de cette pièce un angle α.* La force P se décompose en deux, l'une P sin $\alpha = p$ normale à la direction de la pièce, et l'autre P cos $\alpha = q$ dirigée suivant la direction de la pièce.

La direction de la force q ne passant pas au centre de gravité G de la section de rupture, la ligne des fibres invariables se trouvera au point H différent de G, et en appelant :

n la distance du point le plus éloigné de la section de rupture de la pièce à la ligne des fibres invariables, quand la pièce est seulement sollicitée par la force p; cette ligne passe alors par le point G (236);
n' la distance HG ;
S la section de la pièce;
R le plus grand effort auquel peut être soumise la matière qui compose la pièce (236);
I le moment d'inertie de la section transversale de la pièce (236);
L la longueur de la pièce ou le bras de levier de la force p;
l le bras de levier de la force q;
E le coefficient d'élasticité (236),
f la flèche produite;

on a

$$n' = \frac{q\mathrm{I}}{(p\mathrm{L} + ql)\mathrm{S}}.$$

On a aussi

$$\frac{\mathrm{R}}{n + n'}\mathrm{I} = p\mathrm{L} + ql;$$

d'où on conclût, en remplaçant n' par sa valeur précédente,

$$\frac{\mathrm{RI}}{n} = p\mathrm{L} + ql + \frac{q\mathrm{I}}{n\mathrm{S}}.$$

Si la section de la pièce est rectangulaire, on a (236)

$$n = \frac{h}{2} \quad \text{et} \quad \mathrm{I} = \frac{bh^3}{12},$$

et, par suite, en remarquant que $\mathrm{S} = bh$,

$$\frac{\mathrm{RI}}{n} = \frac{\mathrm{R}bh^2}{6} = p\mathrm{L} + ql + \frac{qh}{6}.$$

Formule à l'aide de laquelle on déterminera la charge que pourra supporter une pièce de dimensions déterminées, ou ces dimensions pour supporter une charge donnée.

ans le cas où $q = 0$, la formule précédente devient

$$\frac{\mathrm{RI}}{n} = \frac{\mathrm{R}bh^2}{6} = p\mathrm{L};$$

que l'on devait trouver, puisqu'alors la pièce n'est plus soumise à un effort p normal à sa longueur (236). Si au contraire on a $p = 0$, que la pièce soit seulement chargée d'un poids q, on a

$$\frac{\mathrm{RI}}{n} = \frac{\mathrm{R}bh^2}{6} = q\left(l + \frac{h}{6}\right).$$

ans les formules précédentes, on a négligé la flèche produite; ce que l'on peut faire dans la pratique, quoiqu'il faudrait, pour plus d'exactitude, l'ajouter à l.

On a, en négligeant f par rapport à l,

$$f = \frac{\mathrm{L}^2}{\mathrm{EI}}\left(\frac{p\mathrm{L}}{3} + \frac{ql}{2}\right) = \frac{12\mathrm{L}^2}{\mathrm{E}bh^3}\left(\frac{p\mathrm{L}}{3} + \frac{ql}{2}\right).$$

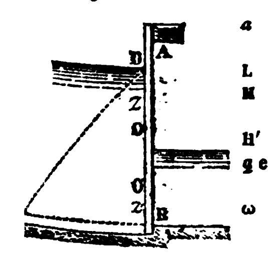
Si $q = 0$, on a $$f = \frac{p\mathrm{L}^3}{3\mathrm{EI}} = \frac{4p\mathrm{L}^3}{\mathrm{E}bh^3}$$ (comme au n° 236).

Si, au contraire, $p = 0$, on a

$$f = \frac{ql\mathrm{L}^2}{2\mathrm{EI}} = \frac{6ql\mathrm{L}^2}{\mathrm{E}bh^3}.$$

151. *Aiguille verticale supportant une charge de liquide* (*fig.* 60). Appelant :

Fig. 60.



- a l'étendue horizontale de liquide dont la pression se reporte contre l'aiguille;
- L la distance AB des appuis de l'aiguille;
- H la profondeur de l'eau en amont, au-dessus du point B;
- H′ la profondeur de l'eau en aval;
- q et q' les pressions de l'aiguille sur les points A et B;
- ω la densité du liquide ou le poids du cube de liquide dont le côté a servi à exprimer les longueurs a, L, H, H′.

La pression du liquide sur la face d'amont de l'aiguille est représentée par la surface du triangle rectangle isocèle BCD multipliée par a et par la densité du liquide; ainsi elle est

$$\omega \times a \times \frac{\mathrm{H}^2}{2}.$$

Sur la face d'aval de l'aiguille, la pression de l'eau est

$$\omega \times a \times \frac{\mathrm{H}'^2}{2}.$$

Les centres de pression sont situés à des hauteurs $\frac{H}{3}$ et $\frac{H'}{3}$ au-dessus du point B (*Int.*, 1573).

La somme des pressions de l'aiguille contre ses appuis et la différence des expressions précédentes, c'est-à-dire

$$\frac{\omega a}{2}(H^2 - H'^2).$$

Prenant par rapport au point fixe B les moments des forces qui sollicitent l'aiguille, puisqu'il y a équilibre, on doit avoir

$$qL = \omega a\left(\frac{H^2}{2}\times\frac{H}{3}-\frac{H'^2}{2}\times\frac{H'}{3}\right),\quad \text{d'où}\quad q = \frac{\omega a}{6L}(H^3 - H'^3).$$

On a alors $\quad q' = \frac{\omega a}{2}(H^2 - H'^2) - \frac{\omega a}{6L}(H^3 - H'^3).$

Pour un point O situé au-dessus du niveau d'aval et à la profondeur z au-dessous du niveau d'amont, on a (236)

$$\frac{RI}{n} = q\,[L - (H - z)] - \frac{\omega a z^3}{6}. \qquad (a)$$

Le point de plus grande courbure de l'aiguille, au-dessus du niveau d'aval, correspond à

$$z = \sqrt{\frac{2q}{\omega a}} = \sqrt{\frac{H^3 - H'^3}{3L}}.$$

Remplaçant z par cette valeur et q par la sienne dans l'équation (a), on a pour le point de plus grande fatigue de la partie considérée, en réduisant,

$$\frac{RI}{n} = \frac{\omega a}{6L}(H^3 - H'^3)\left(L - H + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{H^3 - H'^3}{3L}}\right). \qquad (c)$$

Pour un point O′ situé au-dessous du niveau d'aval à la hauteur z' au-dessus du point B, on a, en remarquant que $H - H'$ est la hauteur constante de pression sur tous les points situés au-dessous de ce niveau,

$$\frac{RI}{n} = q'z' - (H - H')\frac{\omega a z'^2}{2}. \qquad (b)$$

Le point de plus grande fatigue de l'aiguille, au-dessous du niveau d'aval, correspond à

$$z' = \frac{q'}{\omega a(H - H')} = \frac{H + H'}{2} - \frac{H^3 - H'^3}{6L(H - H')}.$$

Remplaçant z' par cette valeur et q' par la sienne dans l'équation (b), il vient pour le point de plus grande fatigue, en réduisant,

$$\frac{\mathrm{RI}}{n} = \frac{\varpi a}{2}(\mathrm{H} - \mathrm{H}')\left(\frac{\mathrm{H}+\mathrm{H}'}{2} - \frac{\mathrm{H}^3 - \mathrm{H}'^3}{6\mathrm{L}(\mathrm{H}-\mathrm{H}')}\right)^2. \qquad (d)$$

.e moment de résistance $\frac{\mathrm{RI}}{n}$, ou $\frac{\mathrm{R}bh^2}{6}$ si l'aiguille est un prisme à tion rectangulaire (236), devra donc être au moins égal à la plus ınde des valeurs (c) et (d).

152. Effort tendant à faire rompre par glissement longitudinal e pièce soumise à un effort de flexion. (Extrait d'une note insérée ıs les *Annales des ponts et chaussées*, année 1856, sur un *Traité des ıts, système How*, par M. Jouravski, ingénieur russe.)

'our une pièce à section rectangulaire encastrée par une extrémité ıollicitée à l'autre par une force P, lorsqu'il y a équilibre, une sec- n située à la distance l de l'encastrement donne pour somme des ıments, par rapport à la ligne neutre, des résistances à l'extension à la compression de toutes les fibres qui composent la section

$$\frac{rbh^2}{6} = \mathrm{P}(\mathrm{L}-l). \qquad (1)$$

effort auquel résistent les fibres les plus éloignées de la ligne des fibres invariables, par unité de section; la valeur limite de r est R (236).

Les résistances à l'extension des fibres vont en augmentant depuis ligne neutre, où on peut les supposer nulles, jusqu'aux points les ıs éloignés de cette ligne, points où les fibres subissent le plus ınd allongement. La résultante de toutes ces résistances est égale eur somme, et elle a pour expression

$$\frac{rbh}{4}.$$

Les fibres qui résistent à la compression fournissent une résultante ıle à la précédente, et comme elle agit en sens contraire de la pre- ère, et il en résulte que ces deux résultantes tendent à rompre le ide par glissement suivant le plan longitudinal contenant la ligne ı fibres invariables. Appelant Q la force qui tend à rompre l'adhé- n latérale des fibres situées près de la ligne des fibres invariables, ı a donc

$$\mathrm{Q} = \frac{rbh}{4},$$

, en remplaçant r par sa valeur tirée de l'équation (1),

$$\mathrm{Q} = \frac{3\mathrm{P}(\mathrm{L}-l)}{2h}, \qquad (2)$$

La valeur de Q est proportionnelle à $\mathrm{L}-l$, et elle est maximum ıand $l=0$, c'est-à-dire pour le point d'encastrement, qui donne

$$Q = \frac{3PL}{2h}.$$

Suivant un plan longitudinal situé à la distance y des fibres invariables, la valeur de Q est

$$Q' = \frac{2br}{h}\left(\frac{h^2}{8} - \frac{y^2}{2}\right). \qquad (a)$$

Q' augmente à mesure que y diminue, et il est maximum pour $y = 0$, c'est-à-dire pour le plan longitudinal passant par la ligne des fibres invariables. Faisant $y = 0$ dans la valeur de Q', on obtient, comme cela devait être,

$$Q' = Q = \frac{rbh}{4}. \qquad (a')$$

Les équations (1) et (2) deviennent pour le point d'encastrement, en faisant $r = R$, résistance à laquelle on peut soumettre les fibres,

$$P = \frac{Rbh^2}{6L}. \qquad (3) \qquad\qquad Q = \frac{3PL}{2h} = \frac{Rbh}{4}. \qquad (4)$$

La formule (3) servira à vérifier si la pièce résistera convenablement suivant l'encastrement, et la formule (4), si la pièce ne se divisera pas longitudinalement. R_1 étant la résistance de sécurité de la pièce au glissement parallèlement à la longueur des fibres, Q ne devra pas dépasser

$$R_1 \times bL.$$

Supposant que deux solides prismatiques de même longueur L, largeur b et hauteur h, soient mis l'un sur l'autre et encastrés à une extrémité, et que leur ensemble soit chargé à l'autre extrémité d'un poids P, on aura

$$P = 2\frac{Rbh^2}{6L}.$$

Mais si les deux solides sont unis de manière à ne former qu'une pièce, on aura

$$P' = \frac{Rb(2h)^2}{6L} = 2P.$$

Ce qui montre qu'en empêchant les deux pièces de glisser l'une sur l'autre, on double la charge qu'elles peuvent supporter.

Dans la pratique, on s'oppose au glissement au moyen de clefs. Les formules (a) ou (a') serviront à déterminer le nombre et les dimensions de ces clefs, selon la position du joint par rapport au milieu de la hauteur de la pièce. Ces formules montrent de plus que Q' est proportionnel à r; or, comme r est proportionnel, pour un même poids P, à $L - l$ (formule 1), on voit que les clefs devront être également espacées entre elles sur toute la longueur de la pièce. Il est évident que l'é

devra calculer le nombre des clefs pour la plus grande valeur de Q′, c'est-à-dire pour le point d'encastrement, ou en faisant $r = R$ dans les équations (a) et (a′). Les clefs doivent avoir une largeur telle, qu'elles ne soient pas cisaillées transversalement par les deux parties de la poutre, et leur hauteur doit donner des entailles capables de résister ensemble à la compression Q sans altération.

Les clefs, sous l'action des deux parties de la poutre, tendent à tourner autour de leur axe ; il en résulte qu'elles ne pressent pas uniformément contre les entailles, et que pour cette raison on doit augmenter un peu la profondeur de ces entailles. De plus, cette tendance des clefs à tourner écarterait les pièces qui forment la poutre, si on ne les reliait pas entre elles par des brides en fer.

Si la poutre reposait sur deux appuis placés à ses extrémités, et qu'elle fût chargée du poids P en son milieu, on la considérerait comme étant encastrée au milieu de sa longueur, et chargée à chaque extrémité du poids $\frac{P}{2}$.

Si, dans ce dernier cas, le poids P était réparti uniformément sur toute la longueur de la poutre, p étant la charge par mètre de longueur, on aurait $P = pL$, et pour l'équilibre d'une longueur $L - l$, comptée à partir d'une extrémité, la formule (1) deviendrait

$$\frac{rbh^2}{6} = \frac{pL}{2}\left(\frac{L}{2} - l\right) - \frac{p}{2}\left(\frac{L}{2} - l\right)^2.$$

La force Q, qui tend à opérer la disjonction de la poutre suivant l'étendue $L - l$, est $\frac{rbh}{4}$, et on a, en remplaçant r par sa valeur tirée de l'équation précédente,

$$Q = \frac{3p}{4h}\left(\frac{L^2}{4} - l^2\right).$$

La valeur de Q augmentant à mesure que le carré de l est plus petit, on voit que les clefs devront être plus rapprochées ou plus profondes vers les extrémités de la poutre qu'au milieu. De même, pour une poutre encastrée à une extrémité, et chargée uniformément sur toute sa longueur, les clefs doivent être de plus en plus rapprochées ou plus profondes à partir de l'encastrement.

Les considérations précédentes s'appliquent aux rivets des poutres en tôle comme aux clefs des poutres en bois.

235. *Résistance à la torsion.* Lorsqu'une pièce prismatique homogène est soumise à un effort de torsion, tant qu'on n'a pas dépassé la limite d'élasticité, le rapport de cet effort à l'angle de torsion est à peu près constant pour une même matière. Désignant par G ce rapport, par Q l'effort, et par θ l'angle de torsion, pour une tige ayant l'unité de

longueur et l'unité de section, on a $\frac{Q}{\theta} = G$, que l'on peut appeler coefficient de torsion.

Pour un solide cylindrique ou prismatique, on a

$$P\rho = \frac{Gt}{L} I, \quad \text{d'où} \quad t = \frac{P\rho \times L}{GI}. \qquad (a)$$

P force tendant à tordre le corps en agissant dans un plan normal à l'axe;
ρ bras de levier de P, ou longueur de la perpendiculaire commune à la direction de P et à l'axe du corps;
$P\rho$ moment de la force P;
t angle de torsion, ou longueur de l'arc décrit par un point situé à l'unité de distance de l'axe du corps, ou encore longueur de l'arc décrit par un point quelconque du corps, divisée par la distance de ce point à l'axe;
L longueur de la pièce;
$I = \Sigma n^2 d\omega$ somme des produits de la surface $d\omega$ de la section de chacune des fibres élémentaires qui composent la pièce par le carré de la distance n de cette fibre à l'axe. I a été appelé *moment d'inertie polaire* par M. Persy.

Pour une section circulaire. . . . . $I = \frac{\pi r^4}{2}$.

Pour une section en couronne circulaire. . . . $I = \frac{\pi(r^4 - r'^4)}{2}$.

Pour une section rectangulaire. . . . . $I = \frac{b^3 h^3}{3(b^2 + h^2)}$.

Pour une section carrée, $q = b = h$ et $I = \frac{q^4}{6}$.

r rayon du cylindre plein;
r et r' rayons extérieur et intérieur du cylindre creux;
b et h côtés de la section de la pièce prismatique;
q côté de la pièce à section carrée.

Des expériences de M. Duleau, de M. Favard et de la société industrielle de Mulhouse, et de plusieurs observations, M. Morin conclut le tableau suivant des valeurs de G :

Fer doux.	6 000 000 000
Fer en barres.	6 666 000 000
Acier d'Allemagne..	6 000 000 000
Acier fondu, très-fin.	10 000 000 000
Fonte..	2 000 000 000
Cuivre.	4 366 000 000
Bronze.	1 066 000 000
Chêne.	400 000 000
Sapin..	433 000 000

Dans la pratique, il convient de limiter assez l'angle de torsion pour qu'il ne nuise pas à la transmission de mouvement et que l'élasticité de la fibre la plus éloignée de l'axe ne soit pas altérée. Or cette fibre formant une hélice dont la tangente fait avec la position primitive de

la fibre un angle dont la tangente trigonométrique est $\frac{n't}{L}$, c'est cette tangente qu'il suffit de limiter.

n' distance de l'axe à la fibre qui en est la plus éloignée.

Des expériences et observations citées ci-dessus, il résulte que l'on peut faire pour les arbres allégés

$$\frac{n't}{L} = 0{,}000\,667;$$

tangente qui correspond à un angle de 2′18″ formé par les deux positions de la fibre.

Pour les arbres forts ou premiers moteurs, on fait

$$\frac{n't}{L} = \frac{0{,}000\,667}{2} = 0{,}000\,333.$$

On a donc en moyenne

$$\frac{n't}{L} = 0{,}000\,5, \quad \text{d'où} \quad t = 0{,}0005\,\frac{L}{n'}.$$

Comme pour les arbres cylindriques pleins, cylindriques creux, à section rectangulaire et à section carrée, on a respectivement

$$n' = r, \quad n' = r, \quad n' = \frac{1}{2}\sqrt{b^2 + h^2}, \quad n' = \frac{q}{\sqrt{2}},$$

on a donc pour ces sections respectives :

$$t = 0{,}000\,5\,\frac{L}{r} \quad t = 0{,}0005\,\frac{L}{r} \quad t = 0{,}0005\,\frac{2L}{\sqrt{b^2 + h^2}} \quad t = 0{,}0005\,\frac{L\sqrt{2}}{q}.$$

Remplaçant dans la première des formules (a) t et I par leurs valeurs, on a pour les sections précédentes les formules pratiques

$$P\rho = 0{,}000\,5G\,\frac{\pi r^3}{2} \qquad P\rho = 0{,}000\,5G\,\frac{\pi(r^4 - r'^4)}{2r}$$

$$P\rho = 0{,}000\,5G\,\frac{bh(b^2 + h^2)}{6\sqrt{b^2 + h^2}} \qquad P\rho = 0{,}000\,5G\,\frac{q^3}{3\sqrt{2}}.$$

Ces dernières formules servent à calculer quelles doivent être les dimensions de la section transversale de l'arbre pour résister à un moment donné $P\rho$, et elles font voir que ce moment est indépendant de la longueur L de la pièce, ce qui est évidemment vrai jusqu'au moment de rupture. Les expressions de t font voir au contraire que l'angle de torsion est proportionnel à L et au moment $P\rho$.

Des expériences de M. Carillon sur des fontes de Paris et de diffé-

rentes localités françaises, il résulte que la valeur 0,000667 de $\frac{n'l}{L}$ n'est que le 1/16 environ de celle qui correspond à la rupture ; ce qui indique que la formule pratique conduit à des dimensions que l'on peut considérer comme supérieures à celles nécessaires.

Formule pratique. On peut encore se servir, pour déterminer le diamètre à donner aux pièces cylindriques soumises à un effort de torsion, de la formule

$$d^3 = k\,\frac{A}{n}.$$

- k coefficient dont la valeur dépend de la nature de la pièce ;
- d diamètre de la pièce en centimètres ;
- A quantité d'action transmise par la pièce en une minute, exprimée en kilogrammètres ;
- n nombre de tours que fait la pièce en une minute.

Pour un arbre creux, la quantité d'action A qu'il peut transmettre est égale à celle que pourrait transmettre l'arbre s'il était plein, moins celle que pourrait transmettre un arbre plein d'un diamètre égal au diamètre intérieur de l'arbre creux ; d'où il résulte qu'en appelant d le diamètre extérieur de l'arbre creux, et d' son diamètre intérieur, on a

$$d^3 - d'^3 = k\,\frac{A}{n}.$$

D'après Buchanan, $k = 2{,}3$ pour les arbres ou tourillons en fonte, et $k = \frac{9}{14} \times 2.3 = 1{,}48$ pour les arbres ou tourillons en fer. Mais, à mesure que les moyens de fabrication se sont perfectionnés, les dimensions des différentes pièces de machines ont dû diminuer, et d'après les observations de M. Walter, sur 21 machines plus récentes et dont les arbres ou tourillons en fonte transmettent des effets variant de 5 à 50 chevaux, avec des vitesses de rotation très-variables, mais sans choc, il résulte que pour la fonte k varie de 1,10 au minimum à 1,96 au maximum, et que la valeur moyenne de k est sensiblement 1,6. La valeur 1.10 a été trouvée pour des arbres en bonne fonte anglaise faisant marcher des moulins à blé ; mais il convient de ne pas faire k plus petit que 1,25. Quand le travail transmis est irrégulier, mais sans choc ou avec des chocs très-faibles, on pourra considérer la valeur 1,86 de k comme donnant toute la sécurité désirable.

A l'usine de Terre-Noire, pour le tourillon en fonte d'une machine de 35 chevaux commandant un marteau frontal, $k = 5{,}085$; l'arbre fait 20 tours par minute, et il fonctionne depuis 1823.

Au Creuzot, pour une machine analogue, $k = 7{,}66$.

En admettant le rapport de la résistance du fer à celle de la fonte de Buchanan, la valeur moyenne de k pour la fonte étant 1,6, pour le fer

on aura $k = \frac{9}{14} \times 1,6 = 1,03$; mais, quoique cette valeur soit encore quelquefois dépassée dans la pratique, il convient de la considérer comme une valeur maxima qui ne doit être employée que pour le fer de médiocre qualité et non corroyé; c'est ce qui résulte du tableau suivant, dû aux observations de M. Walter.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	FORCE transmise par chaque tourillon.	NOMBRE de tours par minute.	DIAMÈTRE des tourillons.	VALEUR de k.
	chevaux.		m	
Machine du bateau *le Sphinx*.	30	25	0.16	0.758
Id. *le Montereau*. . . .	10	30	0.1125	0.944
Id. *la Ville-de-Corbeil*. .	10	30	0.11	0.887
Id. *la Ville-de-Nantes*. .	12	50	0.105	1.070
Roue hydraul. marchant depuis 1833. .	4	10	0.09	0.405
Roue hydraulique commandant une machine à couper le chiffon.	6	8	0.135	0.729
Roue hydraulique de Guérigny.	30	9	0.22	0.709

La roue hydraulique qui donne $k = 0,405$ commande une machine à papier, et produit par conséquent un travail régulier. Les autres valeurs de k correspondent à des travaux irréguliers, et en partie par chocs; ainsi la roue de Guérigny, commandant des laminoirs, agit par chocs, atténués il est vrai par un volant; pour les bateaux, les réactions, quelquefois très-violentes de l'eau se reportent directement sur les tourillons. On peut donc, suivant que le travail transmis par l'arbre a plus ou moins d'analogie avec celui des machines du tableau, considérer les valeurs 0,405, 0,709 et 0,758 de k comme suffisantes.

Pour les transmissions de mouvement non soumises à des chocs violents, comme, par exemple, celles des ateliers ordinaires de construction de machines, k varie de 0,50 au maximum à 0,35 au minimum.

Lorsqu'un arbre n'est soumis qu'à un effort de torsion, il suffit que son diamètre soit égal à celui du tourillon; mais dans la pratique il convient de le prendre de 1/10 à 1/8 plus grand.

Dimensions de quelques arbres de couche en fer.

Force en chevaux. .	1	2	3	4	5	6
Tours par 1'. . . .	40	36	34	32	30	28
Diamètre.	0m,025	0m,044	0m,054	0m,054	0m,076	0m,083
Longueur.	2 ,32	2 ,44	2 ,44	2, 44	2 ,44	2 ,62

Pour le bois, M. Faure rapporte :

1° Que des arbres à 8 pans, de roues hydrauliques, transmettant un effort régulier sans choc, et marchant depuis longtemps sans

éprouver de torsion sensible, lui ont donné pour k les valeurs 17 et 25, dont la moyenne est 20 environ;

2° Que des arbres de transmission de mouvement à des lamino[irs] également à 8 pans, lui ont donné $k = 50$ en moyenne, et m[ême] l'un de ces arbres, se tordant un peu il est vrai lors de l'engagem[ent] des barres de fer, mais n'en résistant pas moins, a donné $k = 43$

3° Que des arbres ronds de 0^m,80 à 0^m,83 de diamètre, formés [de] 4 pièces de bois, bien cerclés en fer et entourés de bagues en fo[nte], mais commandant des marteaux, et étant par conséquent soumi[s à] des chocs violents, ont donné $k = 160$; valeur que l'on ne doit [pas] considérer comme trop grande, puisque l'on remarque encore [une] légère torsion. Un arbre de 0^m,71 de diamètre, donnant $k = 95$, va[leur] minima trouvée, se tordait et se fendillait sous les efforts qu'il a[vait] à supporter. La longueur des arbres de marteaux observés a va[rié] de 6 à 8 mètres.

254. *Arbre soumis à la fois à un effort de flexion et de torsion.* [Dans] ce cas, on calcule le diamètre de l'arbre pour résister à chacun [des] efforts séparément (241 et 253), et l'on prend celle des deux val[eurs] trouvées qui est la plus grande. Si le plus grand diamètre est donné [par] l'effort de torsion, on prend le diamètre trouvé par les tourillo[ns] et on augmente de 1/10 à 1/8 celui de l'arbre.

255. *Dimensions des balanciers.* On peut considérer un balan[cier] comme étant un solide reposant sur un appui placé au milieu de [sa] longueur et chargé à ses deux extrémités (238); on obtiendra d[onc] ses dimensions, en négligeant les nervures, que l'on ne consid[ère] que comme une garantie de solidité, au moyen de la formule

$$\frac{PL}{2} = \frac{Rbh^2}{6}.$$

P force réelle qui sollicite chaque extrémité du balancier, en kilog.;
L distance des points d'application des deux forces P;
R = 7 000 000 pour la fonte (236 et 247); mais il convient, dans ce cas de mouve[ment], de faire R égal au 1/6 de la résistance absolue, c'est-à-dire à 4 670 000;
b épaisseur du balancier, en mètres;
h hauteur du balancier au milieu de sa longueur, en mètres.

L'épaisseur b de la *toile* ou *panneau*, non compris les nervur[es], est uniforme sur toute la longueur du balancier, et varie du 1/12 [au] 1/15 de la hauteur h; cependant, pour les bateaux, où l'on suppri[me] les nervures, b est quelquefois égal au 1/6 et même au 1/5 de h.

La longueur L est ordinairement égale à trois fois la course [du] piston.

On donne au balancier la forme parabolique (249 et *Int.*, 11[...]) et, afin de pouvoir fixer les petits arbres qu'il porte à ses extrémi[tés], on le termine par des manchons dont le rayon extérieur est égal

n intérieur multiplié par 5/2; ces manchons sont raccordés avec
rcs de parabole par des tangentes communes droites ou courbes.
lieu de faire passer les arcs de parabole par les centres des manns, comme l'indique la théorie, on les fait quelquefois passer par
points extérieurs de ces manchons, c'est-à-dire par les points
émes du balancier. Souvent même on se contente de tracer des
s de cercle tangents aux circonférences extérieures des deux manns, et passant par les points extrêmes de la hauteur h.

a saillie des nervures varie des 2/3 de l'épaisseur b du balancier
le fois cette épaisseur.

a longueur totale des moyeux recevant les différents axes fixés
balancier varie de 1,5 à 2 fois le diamètre de ces axes. Ce diatre est égal à 1,2 fois celui des tourillons, et celui-ci se calcule
la formule du n° 239. La longueur du grand moyeu varie ordinairement entre les 2/5 et la 1/2 de h.

56. *Dimensions des manivelles* (86 et suivants). On peut considérer une manivelle comme étant un solide encastré par une de ses
rémités et sollicité à l'autre par une certaine force. On obtiendra
c ses dimensions, en négligeant les nervures, au moyen de la
mule

$$PL = \frac{Rbh^2}{6}. \qquad (236)$$

force agissant à l'extrémité de la manivelle;
longueur de la manivelle;
...000 (236, 247); mais il convient, comme dans le numéro précédent, de faire
R = 1670000 pour les manivelles en fonte;
épaisseur de la manivelle, en mètres;
hauteur de la manivelle au point d'encastrement, en mètres.

n donne à l'épaisseur b, qui est uniforme sur toute la longueur
la manivelle, de 1/6 à 1/5 de h; seulement on renforce b par une
vure qui joint les extrémités des manchons que porte la maelle.

n donne à la manivelle la forme parabolique (249 et *Int.*, 1124),
on raccorde les deux manchons aux arcs de parabole par des arcs
cercle tangents aux manchons et aux arcs de parabole. Le manchon
reçoit l'arbre moteur a un rayon extérieur égal à 1,8 et jusqu'à
fois le rayon intérieur; le manchon qui reçoit le maneton a un
on extérieur égal à 2 et jusqu'à 2,5 fois le rayon intérieur.

a longueur de ces manchons est ordinairement égale à 1,2 fois
r diamètre intérieur.

e diamètre du maneton se calcule par la formule du n° 239, et
ui de l'arbre moteur par celles du n° 253.

57. *Dents de roue d'engrenage* (82 et suivants). On peut considérer
e dent d'engrenage comme étant un solide encastré par une de ses

extrémités et sollicité à l'autre par un certain effort; ses dimensions seront donc données par la formule

$$PL = \frac{Rbh^2}{6}. \qquad (236)$$

P pression que supporte la dent en kilogrammes; on suppose P égal à la pression totale d'une roue d'engrenage sur l'autre, et appliqué à l'extrémité de la dent, comme étant le cas le plus favorable à la rupture;

L longueur de la dent, c'est sa saillie sur la jante;

b largeur de la dent;

h hauteur ou épaisseur de la dent, suivant la circonférence de la roue;

$R = 7\,000\,000$ (236, 247); mais les dents d'engrenage étant soumises à des chocs, il résulte des observations de Tredgold qu'il convient de faire $R = 1\,500\,000$ pour les dents en fonte.

Remplaçant R par sa valeur dans la formule précédente, on a

$$PL = 250\,000bh^2.$$

Cependant, pour des roues faites avec soin et transmettant un effort régulier, ont peut poser

$$PL = 300\,000bh^2.$$

Dans la pratique on fait $L = 1,2h$ pour les engrenages qui transmettent de grands efforts, et $L = 1,5h$ pour ceux qui ne transmettent que de faibles charges.

La valeur de b est comprise entre $6h$ et $3h$, suivant que P est plus ou moins grand; c'est ce que fait voir le tableau suivant :

Valeurs de P en kilog.	Valeurs relatives de b et h.
100 à 250	$b = 3,0h$
250 à 500	$b = 3,5h$
500 à 800	$b = 4,0h$
800 à 1200	$b = 5,0h$
1200 à 2000	$b = 5,5h$
2000 à 3000	$b = 6,0h$

Pour les dents en bois durs, tels que charme, racine de poirier, de sorbier..., on peut conserver entre L, b et h les mêmes relations que pour la fonte et poser

$$PL = 145\,000bh^2.$$

Épaisseur h, en millimètres, des dents de roues d'engrenage en fonte.

FORCE en chevaux.	Vitesse par seconde à la circonférence					
	$0^m.50$	$1^m.00$	$1^m.50$	$2^m.00$	$2^m.50$	$3^m.00$
	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
1	12	8	7	6	»	»
2	17	12	10	9	8	7
3	21	15	12	11	10	9
4	24	17	14	12	11	10
5	27	19	15	14	12	11
6	30	21	17	15	13	12
7	32	22	18	16	14	13
8	34	24	20	17	15	14
9	36	26	21	18	16	15
10	38	27	22	19	17	16
12	40	30	24	21	18	17
14	45	32	26	22	20	18
16	49	34	28	24	21	20
18	51	36	30	26	23	21
20	54	38	31	27	24	22
25	»	43	35	30	27	25
30	»	47	38	33	30	27
35	»	51	41	36	32	29
40	»	54	44	38	34	31

258. *Jante de roue d'engrenage.* Sa largeur est égale à celle de la dent, et l'expérience prouve que son épaisseur doit être égale à celle h de la dent; on la fait égale aux 2/3 de h quand on la renforce, comme on le fait souvent, par une nervure intérieure dont la saillie est à peu près égale à celle des dents.

Pour les roues soumises à des chocs, ou transmettant des efforts qui exigeraient des valeurs de h trop considérables, on renforce la jante par des joues qui emboîtent les dents, de manière à ne laisser que $0^m,010$ ou $0^m,012$ de jeu entre les joues des deux roues engrenées; l'épaisseur de ces joues varie de 1/2 aux 2/3 de l'épaisseur h de la dent. L'écartement des deux joues d'une même roue se fait égal à la largeur b des dents de l'autre roue, plus un jeu de $0^m,006$ à $0^m,008$.

Pour les roues à dents de bois, la largeur totale de la jante est égale à la largeur b des dents, augmentée de part et d'autre de la dent d'une quantité égale aux 2/3 de l'épaisseur h de la dent. L'épaisseur de la jante se fait égale à h.

La queue de la dent a 4 à 6 millimètres de moins que la dent, dans le sens de la circonférence, et 8 à 10 parallèlement à l'axe. Ces queues font saillie de $0^m,02$ à $0^m,025$ à l'intérieur de la jante, où on les taille en queue d'aronde, de manière à pouvoir serrer les dents avec des coins.

259. *Bras de roue d'engrenage.* Pour des roues d'engrenage d 1m,30 de diamètre et au-dessous, il suffit de quatre bras; pour de diamètres de 1m,30 à 2m,50, on en emploie six; pour ceux de 2m,50 5m,00, huit, et pour ceux de 5m,00 à 7m,00, dix. Le nombre des bra ne dépend pas seulement du diamètre de la roue, mais aussi de proportions de la couronne, qui demande à être d'autant mieu soutenue, soit pour son coulage, soit pour son service, qu'elle e plus légère.

On peut encore, jusqu'à un certain point, considérer un bra comme étant un solide encastré par une extrémité et sollicité à l'autr par une certaine force; ainsi, en supposant que les nervures ne fo que résister aux efforts latéraux, on peut poser

$$PL = \frac{Rbh^2}{6}. \qquad (236)$$

P effort tangentiel à la roue, et que la formule suppose n'agir à la fois que sur u seul bras;
L longueur totale du bras mesurée depuis le moyeu;
b épaisseur du bras; elle varie ordinairement entre 1/4 et 1/5 de h;
h hauteur du bras près du moyeu; c'est sa dimension suivant la direction de l'ef fort qui tend à le rompre;
R = 7 000 000, comme pour une pièce encastrée par une extrémité (236); cela suppo que la résistance que le bras qui travaille reçoit des autres compense l'effet de vibrations.

L'épaisseur des nervures est environ les 2/3 de celle du bras, e l'une et l'autre sont uniformes sur toute la longueur du bras. Le arêtes du bras sont droites, et la hauteur h' près de la jante vari entre les 2/3 et les 3/4 de la hauteur h près du moyeu.

La largeur du bras, comptée sur les nervures, se fait à peu pré égale à la hauteur h du corps du bras.

260. *Boulons et écrous.* M. Armengaud aîné, de la discussion de proportions adoptées par divers constructeurs et ingénieurs, a form le tableau suivant pour les vis et boulons à filets triangulaires. L dernière colonne donne les tractions longitudinales que l'on fai supporter aux boulons (*Publication industrielle*).

DIAMÈTRE extérieur.	DIAMÈTRE au fond des filets.	PROFONDEUR des filets.	PAS.	DIAMÈTRE extérieur de l'écrou à 6 pans.	HAUTEUR de l'écrou.	HAUTEUR de la tête du boulon.	TRACTION longitudinale.
millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	kilog.
5	3.2	0.9	1.4	13.7	5	6	20
7.5	5.5	1.0	1.6	17	7.5	7.5	45
10	7.7	1.1	1.8	22	10	9.5	81
12.5	9.9	1.3	2.0	26	12.5	11	126
15	12.2	1.4	2.2	30	15	13	182
17.5	14.5	1.5	2.4	35	17.5	14.5	248
20	16.7	1.6	2.6	38	20	16.5	324
22.5	19.1	1.7	2.8	42	22.5	18	410
25	21.2	1.9	3.0	46	25	20	506
30	25.7	2.1	3.4	54	30	23.5	729
35	30.2	2.4	3.8	62	35	27	992
40	34.7	2.6	4.2	70	40	30.5	1 296
45	39.2	2.9	4.6	78	45	34	1 640
50	43.7	3.2	5.0	86	50	37.5	2 025
55	48.0	3.5	5.4	94	55	41	2 450
60	52.4	3.8	5.8	102	60	44.5	2 916
65	56.8	4.1	6.2	110	65	48	3 422
70	61.1	4.4	6.6	118	70	51.5	3 969
75	65.5	4.7	7.0	126	75	55	4 556
80	69.9	5.0	7.4	134	80	58.5	5 184

Le même auteur indique les dimensions suivantes pour les vis et boulons à filets carrés.

DIAMÈTRE extérieur.	PROFONDEUR des filets.	PAS.	ÉPAISSEUR des filets.	HAUTEUR de l'écrou.	TRACTION longitudinale.
millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	kilog.
20	1.80	3.80	1.90	45.6	324
25	2.02	4.25	2.12	51.0	506
30	2.23	4.70	2.35	56.4	729
35	2.45	5.15	2.57	61.8	992
40	2.66	5.60	2.80	67.2	1296
45	2.87	6.05	3.02	72.6	1640
50	3.19	6.50	3.25	78.0	2025
55	3.30	6.95	3.47	83.4	2450
60	3.51	7.40	3.70	88.8	2916
65	3.73	7.85	3.92	94.2	3422
70	3.94	8.30	4.15	99.6	3969
75	4.16	8.75	4.37	105.0	4556
80	4.37	9.20	4.60	110.4	5184
85	4.58	9.65	4.82	115.8	5852
90	4.80	10.10	5.05	121.2	6561
95	5.01	10.55	5.27	126.6	7300
100	5.22	11.00	5.50	132.0	8100
105	5.44	11.45	5.72	137.4	8930
110	5.65	11.90	5.95	142.8	9801
115	5.87	12.35	6.17	148.2	10712
120	6.08	12.80	6.40	153.6	11664

Rosettes. Les rosettes placées sous la tête des boulons sont percées d'un trou carré, et celles placées sous les écrous le sont d'un trou rond.

		mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.
Diamètre		108	84	58	48	34	26
Épaisseur		7	6	4	3	1	1
Largeur du chanfrein au vif		12	10	6	4	»	»
Trous des rosettes	Équarrissage	30	26	20	16	»	»
	Diamètre	28	24	19	15	11	9

261. *Vis à bois.* Tête fraisée avec une bordure mince (233).

	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.
Longueur totale, tête comprise	60	46	25	25	20
Longueur de la partie filetée	35	30	17	17	13
Diamètre de la tête	17	15	12	10	8.5
Diamètre de la tige sous la tête	9	8	7	6	4.5
Diamètre de la tige au bout	8	7	6	5	4
Épaisseur de la tête	5	4	4	3	2

262. *Classification des fils de fer selon la jauge de Limoges.*

NUMÉROS.	DIAMÈTRE en millim.	NUMÉROS.	DIAMÈTRE en millim.	NUMÉROS.	DIAMÈTRE en millim.	NUMÉROS.	DIAMÈTRE en millim.
0	0.39	7	1.12	13	1.91	19	3.95
1	0.45	8	1.24	14	2.02	20	4.50
2	0.56	9	1.35	15	2.14	21	5.10
3	0.67	10	1.46	16	2.25	22	5.65
4	0.79	11	1.68	17	2.84	23	6.20
5	0.90	12	1.80	18	3.40	24	6.80
6	1.01						

263. *Tôles.* Les tôles fortes employées à la construction des chaudières à vapeur proviennent de fer de fonte au bois, affiné au bois. Les feuilles ont de 1 à 3 mètres de longueur sur $0^m,325$ à $1^m,50$ de largeur, et leur épaisseur varie de millimètre en millimètre depuis 1 jusqu'à 15.

Les tôles de fer de fonte au bois, affiné à la houille, sont employées à la confection des tuyaux de poêles, des cheminées, des toitures, etc.

264. *Fer-blanc.* La tôle est en fer de fonte au bois, affiné au bois. Les feuilles, laminées à l'épaisseur convenable, sont décapées, étamées, lavées et polies. Elles s'expédient en caisses de 100, 150, 200 et 225 feuilles, dont les dimensions et poids sont les suivants :

NOMBRE de feuilles.	DIMENSION DES FEUILLES.		POIDS BRUTS des caisses.
	Longueur.	Largeur.	
	m	m	kil
100	0.435	0.325	48 à 62
100	0.490	0.350	73 à 85
150	0.405	0.310	78 à 103
150	0.325	0.245	28 à 53
200	0.380	0.270	67 à 87
225	0.350	0.260	58 à 88

263. *Classification des fers*, d'après M. Flachat.

DÉNOMINATION.	LARGEUR.	ÉPAISSEUR.	DIAMÈTRE.	COTÉ.
	mill.	mill.	mill.	mill.
Fers marchands plats.. . .	40 à 160	10 et au-dessus	»	»
Id. méplats. .	25 à 40	15 *id.*	»	»
Id. carrés.. .	»	»	»	35 à 100
Fers de petite forge, plats.	25 à 40	8 à 9	»	»
Id. méplats. .	25 à 30	9 à 11	»	»
Id. carrés.. .	»	»	»	19 à 20
Martinets ronds.	»	»	10 à 100	»
Carillons.	»	»	»	10 à 20
Bandelettes.	15 à 40	5 à 7	»	»
Fenderie, verges.	5 à 25	6 à 14	»	»
Aplatis pour carrosserie. .	40 à 70	6 et au-dessus.	»	»
Aplatis pour cuves.	25 à 100	3 à 8	»	»

TABLEAU du poids des fers carrés, par mètre de longueur.

CÔTÉ.	POIDS.	CÔTÉ.	POIDS.	CÔTÉ.	POIDS.	CÔTÉ.	POIDS.	CÔTÉ.	POIDS.	CÔTÉ.	POIDS.
mill.	kil.	mill.	kil.	mill.	kil.	mill.	kil.	mill.	kil.	mill.	kil.
1	0.008	20	3.115	39	11.806	57	25.303	75	43.806	93	67.358
2	0.031	21	3.435	40	12.461	58	26.499	76	44.983	94	68.815
3	0.070	22	3.769	41	13.092	59	27.110	77	46.176	95	70.287
4	0.123	23	4.120	42	13.738	60	28.036	78	47.382	96	71.774
5	0.195	24	4.486	43	14.400	61	28.979	79	48.605	97	73.262
6	0.280	25	4.868	44	15.078	62	29.937	80	49.843	98	74.776
7	0.382	26	5.265	45	15.771	63	30.911	81	51.097	99	76.330
8	0.498	27	5.677	46	16.479	64	31.900	82	52.367	100	77.880
9	0.631	28	6.106	47	17.204	65	32.884	83	53.632	101	79.445
10	0.779	29	6.550	48	17.944	66	33.925	84	54.952	102	81.026
11	0.942	30	7.009	49	18.699	67	34.960	85	56.208	103	82.623
12	1.121	31	7.484	50	19.470	68	36.012	86	57.600	104	84.235
13	1.316	32	7.975	51	20.257	69	37.079	87	58.947	105	85.863
14	1.526	33	8.484	52	21.059	70	38.161	88	60.310	106	87.506
15	1.752	34	9.003	53	21.876	71	39.259	89	61.689	107	89.164
16	1.994	35	9.540	54	22.710	72	40.373	90	63.088	108	90.839
17	2.254	36	10.093	55	23.559	73	41.502	91	64.486	109	92.529
18	2.523	37	10.662	56	24.423	74	42.647	92	65.918	110	94.235
19	2.811	38	11.246								

TABLEAU du poids des fers ronds par mètre de longueur.

DIAMÈTRE.	POIDS.	DIAMÈTRE.	POIDS.	DIAMÈTRE.	POIDS.	DIAMÈTRE.	POIDS.	DIAMÈTRE.	POIDS.	DIAMÈTRE.	POIDS.
mill.	kil.	mill.	kil.	mill.	kil.	mill.	kil.	mill.	kil.	mill.	kil.
2	0.024	19	2.209	36	7.930	53	17.188	69	29.133	85	44.240
3	0.055	20	2.448	37	8.377	54	17.843	70	29.983	86	45.256
4	0.098	21	2.698	38	8.836	55	18.510	71	30.846	87	46.345
5	0.158	22	2.962	39	9.307	56	19.189	72	31.721	88	47.386
6	0.220	23	3.237	40	9.790	57	19.881	73	32.548	89	48.469
7	0.300	24	3.525	41	10.286	58	20.584	74	33.508	90	49.563
8	0.392	25	3.824	42	10.794	59	21.300	75	34.119	91	50.271
9	0.496	26	4.136	43	11.314	60	22.028	76	35.343	92	51.791
10	0.612	27	4.461	44	11.846	61	22.769	77	36.288	93	52.923
11	0.740	28	4.797	45	12.391	62	23.521	78	37.228	94	54.607
12	0.881	29	5.146	46	12.948	63	24.286	79	38.189	95	55.224
13	1.034	30	5.507	47	13.517	64	25.063	80	39.162	96	56.393
14	1.199	31	5.880	48	14.098	65	25.853	81	40.147	97	57.574
15	1.377	32	6.266	49	14.692	66	26.654	82	41.144	98	58.644
16	1.566	33	6.664	50	15.296	67	27.468	83	42.154	99	59.970
17	1.768	34	7.074	51	15.916	68	28.294	84	43.176	100	61.190
18	1.983	35	7.496	52	16.546						

266. *Cuivre.* Les planches de cuivre jaune ont $0^m,66$ sur $1^m,132$, et celles de cuivre rouge, $1^m,137$ sur $1^m,407$; le poids exprimé en livres donne le numéro des feuilles.

267. *Tarif du zinc laminé* (Vieille-Montagne).

NUMÉROS.	ÉPAISSEUR des feuilles.	DIMENSIONS ET POIDS DES FEUILLES (1).		
		Largeur, 0m.50. Longueur, 2m.00. Surface, 1m.00.	Largeur, 0m.65. Longueur, 2m.00. Surface, 1m.30.	Largeur, 0m.80. Longueur, 2m.00. Surface, 1m.60.
	mill.	k	k	k
9	0.41	2.90	3.70	4.60
10	0.51	3.45	4.45	5.50
11	0.60	4.05	5.30	6.50
12	0.69	4.65	6.10	7.50
13	0.78	5.30	6.90	8.50
14	0.87	5.95	7.70	9.50
15	0.96	6.55	8.55	10.50
16	1.10	7.50	9.75	12.00
17	1.23	8.45	10.95	13.50
18	1.36	9.35	12.20	15.00
19	1.48	10.30	13.40	16.50
20	1.66	11.25	14.60	18.00
21	1.85	12.50	16.25	20.00
22	2.02	13.75	17.90	22.00
23	2.19	15.00	19.50	24.00
24	2.37	16.25	21.40	26.00
25	2.56	17.50	22.75	28.00
26	2.66	18.80	24.40	31.00

(1) On admet une tolérance de 25 décagrammes en moins dans le poids de chaque feuille.

Emploi des divers numéros de zinc.

Nos 1 à 9. Les feuilles en numéros très-faibles, du n° 1 au n° 9, s'emploient pour la perforation, pour les cribles, stores et tamis en zinc, et pour le satinage des papiers. Leur prix et leur fabrication sont exceptionnels.

Ils s'emploient encore pour la fabrication de petits objets en zinc, tels que miroirs, porte-mouchettes, éteignoirs, tabletteries, et tous autres objets légers désignés sous le nom d'articles de Paris.

Nos 10 et 11. Ces numéros sont très-employés dans la fabrication des lampes, des lanternes et pour tout ce qui concerne la ferblanterie en général.

Ces numéros s'estampent encore très-facilement en ornements divers pour girouettes, clochetons, etc.

Ils s'appliquent aussi le long des murs pour préserver les appartements de l'humidité, et dans les cabinets comme revêtements.

Nos 12 et 13. Le n° 12 sert à la fabrication des objets de ménage, tels que seaux, brocs, arrosoirs, bains de pieds, etc.

Avec ces numéros se font aussi les descentes d'eau pour les petites constructions, les couvertures de hangars ou ateliers provisoires, des recouvrements de saillies, corniches, etc.

N° 14. Le n° 14 est spécial aux toitures; c'est celui qui doit être employé le plus généralement. Avec ce numéro, une couverture bien faite doit donner des résultats toujours satisfaisants, et durer au moins trente ans sans réparations.

Des numéros au-dessous ne pourraient faire un service convenable.

Nos 15 et 16. Ces numéros, en grande dimension, sont employés pour couvertures de monuments, chêneaux, caisses d'eau, bains de siége et fonds de baignoires.

En petites dimensions, 0m,35 à 0m,40 sur 1m,15 à 1m,50, ils servent pour doublage de navires aux endroits qui supportent le moins de fatigue.

N° 17. En grandes dimensions, ce numéro s'emploie pour les parois de baignoires, et en petites dimensions pour doublage à l'avant des navires, où le frottement de la lame exige du doublage une grande résistance; c'est même pour cela que l'on fait souvent usage des nos 18 à 20.

Nos 18 à 26. On emploie ces épaisseurs pour les pompes, la garniture intérieure des cuves à papeteries, des réservoirs et cristallisoirs divers, en usage dans les raffineries, etc.; ils offrent une résistance telle qu'une caisse ainsi doublée doit durer cinquante ou soixante ans.



DEUXIÈME PARTIE.

Chaleur appliquée aux arts industriels.

POUVOIRS DES CORPS POUR LA CHALEUR.

268. *Pouvoir émissif ou rayonnant.* Tous les corps, quelles que soient leur nature et leur température, jouissent de la propriété d'émettre ou de rayonner de la chaleur. Chaque rayon émané se meut en ligne droite, et son intensité en un point quelconque varie, pour une même source de chaleur, en raison inverse du carré de la distance de ce point à la source. La chaleur rayonnée traverse l'air sans l'échauffer. La quantité plus ou moins grande de chaleur émise ou rayonnée par un corps est ce que l'on appelle le *pouvoir émissif ou rayonnant* de ce corps.

TABLEAU des valeurs relatives des pouvoirs émissifs ou rayonnants de quelques corps placés dans les mêmes circonstances de température et de milieu environnant.

DÉSIGNATION DES CORPS.	VALEURS relatives des pouvoirs émissifs ou rayonnants, d'après	
	Leslie.	M. Melloni.
Noir de fumée	100	100
Eau	100	»
Carbonate de plomb	»	100
Papier à écrire	98	»
Ivoire, jais, marbre	»	93 à 98
Colle de poisson	»	91
Verre ordinaire	90	»
Encre de Chine	88	85
Glace	85	»
Gomme laque	»	72
Mercure	20	»
Plomb brillant	19	»
Fer poli	15	»
Étain, argent, or	12	»
Surface métallique	»	12

Le pouvoir émissif d'une surface métallique est d'autant plus petit que cette surface est mieux polie.

TABLEAU des pouvoirs émissifs ou rayonnants de quelques corps, d'après les expériences récentes de MM. de La Provostaye et Desains.

DÉSIGNATION DES CORPS.	POUVOIRS.
Noir de fumée.	100
Platine sortant du laminoir.	10.74
Platine bruni.	9.09
Argent mat chimiquement déposé sur cuivre.	5.37
Le même, bruni.	2.10
Argent vierge sortant du laminoir.	2.94
Le même, bruni.	2.38
Le même, maintenu dix ou douze heures à 120°.	2.77
Argent appliqué en feuilles minces sur l'argent ou sur le platine.	2.04
Or appliqué en feuilles.	4.25
Cuivre rouge en lames polies, disposées pour la gravure.	4.76
Cuivre en feuilles appliqué sur du cuivre.	5.55

Variations des pouvoirs émissifs avec l'inclinaison, d'après ces derniers expérimentateurs.

INCLINAISON.	NOIR DE FUMÉE déposé à la lampe.	VERRE.	CÉRUSE à l'essence.	OCRE ROUGE à l'essence.	NOIR à l'essence.
0°	100	90.0	100	100	100
60	»	83.6	94.6	»	»
70	100	75.01	83.9	94.2	»
75	»	65.3	»	»	»
80	100	55.44	65.9	82.3	76

269. *Pouvoirs absorbant et réflecteur.* Lorsqu'un corps poli est rencontré par un rayon de chaleur, il en absorbe une partie et réfléchit l'autre. La portion plus ou moins grande de chaleur absorbée est ce qu'on appelle le *pouvoir absorbant* de ce corps, et la portion réfléchie est son pouvoir *réflecteur.*

On admet que le pouvoir absorbant d'un corps est égal à son pouvoir émissif, et qu'il est le complément de son pouvoir réflecteur: ainsi le pouvoir émissif d'un corps étant 90, son pouvoir absorbant sera 90, et son pouvoir réflecteur 10; ces nombres supposent que la quantité totale de chaleur qui vient frapper le corps est représentée par 100.

TABLEAU des valeurs relatives des pouvoirs réflecteurs de quelques corps, d'après Leslie.

DÉSIGNATION DES CORPS.	VALEURS relatives des pouvoirs réflecteurs.
Cuivre jaune	100
Argent	90
Étain en feuilles	85
Bloc d'étain plané	80
Acier	70
Plomb	60
Étain mouillé de mercure, avec surface brillante	50
Verre	10
Verre couvert d'une couche de cire ou d'huile	5
Noir de fumée	0

D'après M. Melloni, le pouvoir absorbant d'un corps varie bien dans le même sens que le pouvoir émissif; mais, de plus, il est variable, pour un même corps, suivant la nature de la source de chaleur.

TABLEAU des résultats obtenus par M. Melloni.

DÉSIGNATION DES CORPS.	POUVOIRS ABSORBANTS, la source de chaleur étant			
	une lampe.	du platine incandescent.	du cuivre à 400°.	du cuivre à 100°.
Noir de fumée	100	100	100	100
Carbonate de plomb	53	56	89	100
Colle de poisson	52	54	64	91
Encre de Chine	96	95	87	85
Gomme laque	43	47	70	72
Surface métallique	14	13.5	13	13

TABLEAU des pouvoirs réflecteurs de quelques métaux très-répandus, d'après MM. de La Provostaye et Desains.

DÉSIGNATION DES CORPS.	POUVOIRS.
Plaqué d'argent	97
Acier doré poli	97
Argent fondu ou battu, bien poli	96 ou 97
Or plaqué	95

DÉSIGNATION DES CORPS.	POUVOIRS.
Laiton fondu ou battu, poli vif.	93
Cuivre rouge.	93
Fer cuivré.	93
Cuivre argenté un peu laiteux.	91
Laiton battu, poli gras.	91
Cuivre rouge verni.	86
Métal des miroirs récemment poli.	85.5
Id. un peu altéré.	82.5
Platine en lame.	83
Platine chimiquement déposé sur cuivre.	83
Platine en couches 5 à 6 fois plus épaisses, poli médiocre.	76
Acier.	82.5
Zinc.	81
Fer.	77
Fonte.	74 ou 75
Mercure liquide.	environ 77

D'après ces expérimentateurs, les pouvoirs réflecteurs des métaux ne paraissent pas changer avec l'incidence pour des angles inférieurs à 70°; mais pour des angles supérieurs, ils diminuent sensiblement; ainsi, pour les angles 75° ou 80°, ils deviennent à peu près les 0,94 de ce qu'ils étaient sous des incidences plus petites. Il a été impossible d'observer avec sécurité dans des incidences plus rasantes, de sorte qu'on ne peut dire si la diminution continue jusqu'à 90°.

270. *Pouvoir conducteur des corps pour la chaleur.* Tous les corps ne conduisent pas également bien la chaleur; c'est ce que fait voir le tableau suivant des pouvoirs conducteurs relatifs de quelques corps, d'après M. Despretz, et d'après les expériences récentes de MM. Wiedemann et Franz.

DÉSIGNATION des corps.	POUVOIRS RELATIFS.		DÉSIGNATION des corps.	POUVOIRS RELATIFS.	
	M. Despretz.	MM. Wiedemann et Franz.		M. Despretz.	MM. Wiedemann et Franz.
Or.	1000.0	1000	Zinc.	363.0	»
Platine.	981.0	158	Étain.	303.9	273
Argent.	973.0	1880	Plomb.	179.5	160
Cuivre.	898.2	1383	Marbre.	23.6	»
Laiton.	748.6	444	Porcelaine.	12.2	»
Fonte.	561.5	»	Terre cuite.	11.4	»
Fer.	374.3	224	Palladium.	»	118
Acier.	»	218	Bismuth.	»	34

Lorsqu'un corps conduit bien la chaleur, il prend le nom de

bon conducteur de la chaleur; si, au contraire il la conduit mal, il prend le nom de *mauvais conducteur de la chaleur.*

Les corps composés de fibres très-fines, comme le coton, la laine, l'édredon, l'ouate, le son, la paille, le charbon très-divisé, sont les plus mauvais conducteurs de la chaleur. Les liquides et les gaz sont aussi des mauvais conducteurs de la chaleur; aussi, lorsqu'on veut les échauffer, faut-il avoir recours à l'échauffement par contact en produisant des courants dans ces matières; ce que du reste on obtient naturellement en plaçant le foyer sous les liquides ou les gaz à échauffer. Si l'on gêne les mouvements des liquides ou des gaz au moyen des corps fibreux, l'échauffement est considérablement retardé.

ÉVALUATION DES TEMPÉRATURES.

271. *Thermomètres.* Ces instruments, fondés sur les variations de volume que font subir aux corps les changements de température, servent à apprécier l'état de chaleur dans lequel se trouvent les corps.

Dans le thermomètre centigrade, le nombre 0° de l'échelle correspond à la température constante de la glace fondante, et le nombre 100°, à la température, aussi constante, de l'ébullition de l'eau pure sous la pression atmosphérique de $0^m,76$ de mercure. Chaque division du thermomètre représente 1 degré centigrade.

Dans le thermomètre de Réaumur, 0° correspond à la glace fondante, et 80° à l'eau bouillante.

Dans le thermomètre Fahrenheit, 32° correspond à la glace fondante, et 212° à l'ébullition de l'eau.

Les relations qui existent entre les températures indiquées par ces différents thermomètres sont :

$$C = \frac{5}{4} R, \quad C = \frac{5}{9} (F - 32) \quad \text{et} \quad R = \frac{4}{9} (F - 32).$$

C température en degrés centigrades;
R *id.* *id.* Réaumur;
F *id.* *id.* Fahrenheit.

De ces formules on conclut les résultats du tableau suivant :

NOMBRES de degrés Réaumur ou Fahrenheit.	TEMPÉRATURES en degrés centigrades, les nombres de la première colonne exprimant des degrés		NOMBRES de degrés Réaumur ou Fahrenheit.	TEMPÉRATURES en degrés centigrades, les nombres de la première colonne exprimant des degrés	
	Réaumur.	Fahrenheit.		Réaumur.	Fahrenheit.
	deg. cent.	deg. cent.		deg. cent.	deg. cent.
−28	−35.00	−33.33	+20	+25.00	− 6.67
27	33.75	32.78	21	26.25	6.11
26	32.50	32.22	22	27.50	5.56
25	31.25	31.67	23	28.75	5.00
24	30.00	31.11	24	30.00	4.45
23	28.75	30.56	25	31.25	3.90
22	27.50	30.00	26	32.50	3.34
21	26.25	29.45	27	33.75	2.78
20	25.00	28.89	28	35.00	2.23
19	23.75	28.34	29	36.25	1.67
18	22.50	27.78	30	37.50	1.11
17	21.25	27.23	31	38.75	0.56
16	20.00	26.67	32	40.00	0.00
15	18.75	26.12	33	41.25	+ 0.56
14	17.50	25.56	34	42.50	1.11
13	16.25	25.01	35	43.75	1.67
12	15.00	24.45	36	45.00	2.23
11	13.75	23.90	37	46.25	2.78
10	12.50	23.34	38	47.50	3.34
9	11.25	22.79	39	48.75	3.90
8	10.00	22.22	40	50.00	4.45
7	8.75	21.67	41	51.25	5.00
6	7.50	21.11	42	52.50	5.56
5	6.25	20.56	43	53.75	6.11
4	5.00	20.00	44	55.00	6.67
3	3.75	19.45	45	56.25	7.23
2	2.50	18.89	46	57.50	7.78
1	1.25	18.34	47	58.75	8.34
0	0.00	17.78	48	60.00	8.89
+ 1	+ 1.25	17.23	49	61.25	9.45
2	2.50	16.67	50	62.50	10.00
3	3.75	16.11	51	63.75	10.56
4	5.00	15.56	52	65.00	11.11
5	6.25	15.00	53	66.25	11.67
6	7.50	14.45	54	67.50	12.23
7	8.75	13.90	55	68.75	12.78
8	10.00	13.34	56	70.00	13.34
9	11.25	12.78	57	71.25	13.90
10	12.50	12.23	58	72.50	14.45
11	13.75	11.67	59	73.75	15.00
12	15.00	11.11	60	75.00	15.56
13	16.25	10.56	61	76.25	16.11
14	17.50	10.00	62	77.50	16.67
15	18.75	9.45	63	78.75	17.23
16	20.00	8.89	64	80.00	17.78
17	21.25	8.34	65	81.25	18.34
18	22.50	7.78	66	82.50	18.89
19	23.75	7.23	67	83.75	19.45

NOMBRES de degrés Réaumur ou Fahrenheit.	TEMPÉRATURES en degrés centigrades, les nombres de la première colonne exprimant des degrés		NOMBRES de degrés Réaumur ou Fahrenheit.	TEMPÉRATURES en degrés centigrades, les nombres de la première colonne exprimant des degrés	
	Réaumur.	Fahrenheit.		Réaumur.	Fahrenheit.
	deg. cent.	deg. cent.		deg. cent.	deg. cent.
+68	+85.00	+20.00	+115	+143.75	+46.11
69	86.25	20.56	116	145.00	46.67
70	87.50	21.11	117	146.25	47.23
71	88.75	21.67	118	147.50	47.78
72	90.00	22.23	119	148.75	48.34
73	91.25	22.78	120	150.00	48.90
74	92.50	23.34	121	151.25	49.45
75	93.75	23.90	122	152.50	50.00
76	95.00	24.45	123	153.75	50.56
77	96.25	25.00	124	155.00	51.11
78	97.50	25.56	125	156.25	51.67
79	98.75	26.12	126	157.50	52.23
80	100.00	26.67	127	158.75	52.78
81	101.25	27.23	128	160.00	53.34
82	102.50	27.78	129	161.25	53.90
83	103.75	28.34	130	162.50	54.45
84	105.00	28.89	131	163.75	55.00
85	106.25	29.45	132	165.00	55.56
86	107.50	30.00	133	166.25	56.11
87	108.75	30.56	134	167.50	56.67
88	110.00	31.11	135	168.75	57.23
89	111.25	31.67	136	170.00	57.78
90	112.50	32.22	137	171.25	58.34
91	113.75	32.78	138	172.50	58.90
92	115.00	33.33	139	173.75	59.45
93	116.25	33.89	140	175.00	60.00
94	117.50	34.45	141	176.25	60.56
95	118.75	35.00	142	177.50	61.11
96	120.00	35.56	143	178.75	61.67
97	121.25	36.11	144	180.00	62.23
98	122.50	36.67	145	181.25	62.78
99	123.75	37.23	146	182.50	63.34
100	125.00	37.78	147	183.75	63.90
101	126.25	38.34	148	185.00	64.45
102	127.50	38.90	149	186.25	65.00
103	128.75	39.45	150	187.50	65.56
104	130.00	40.00	151	188.75	66.11
105	131.25	40.56	152	190.00	66.67
106	132.50	41.11	153	191.25	67.23
107	133.75	41.67	154	192.50	67.78
108	135.00	42.23	155	193.75	68.34
109	136.25	42.78	156	195.00	68.90
110	137.50	43.34	157	196.25	69.45
111	138.75	43.90	158	197.50	70.00
112	140.00	44.45	159	198.75	70.56
113	141.25	45.00	160	200.00	71.11
114	142.50	45.56			

TEMPÉRATURES en degrés		TEMPÉRATURES en degrés		TEMPÉRATURES en degrés		TEMPÉRATURES en degrés	
Fahrenh.	centigrades.	Fahrenh.	centigrades.	Fahrenh.	centigrades.	Fahrenh.	centigrades.
+161	+71.67	+219	+103.90	+277	+136.11	+335	+168.34
162	72.23	220	104.45	278	136.67	336	168.90
163	72.78	221	105.00	279	137.23	337	169.45
164	73.34	222	105.56	280	137.78	338	170.00
165	73.90	223	106.11	281	138.34	339	170.56
166	74.45	224	106.67	282	138.90	340	171.11
167	75.00	225	107.23	283	139.45	341	171.67
168	75.56	226	107.78	284	140.00	342	172.23
169	76.11	227	108.34	285	140.56	343	172.78
170	76.67	228	108.90	286	141.11	344	173.34
171	77.23	229	109.45	287	141.67	345	173.90
172	77.78	230	110.00	288	142.23	346	174.45
173	78.34	231	110.56	289	142.78	347	175.00
174	78.90	232	111.11	290	143.34	348	175.56
175	79.45	233	111.67	291	143.90	349	176.11
176	80.00	234	112.23	292	144.45	350	176.67
177	80.56	235	112.78	293	145.00	351	177.23
178	81.11	236	113.34	294	145.56	352	177.78
179	81.67	237	113.90	295	146.11	353	178.34
180	82.23	238	114.45	296	146.67	354	178.90
181	82.78	239	115.00	297	147.23	355	179.45
182	83.34	240	115.56	298	147.78	356	180.00
183	83.90	241	116.11	299	148.34	357	180.56
184	84.45	242	116.67	300	148.90	358	181.11
185	85.00	243	117.23	301	149.45	359	181.67
186	85.56	244	117.78	302	150.00	360	182.23
187	86.11	245	118.34	303	150.56	361	182.78
188	86.67	246	118.90	304	151.11	362	183.34
189	87.23	247	119.45	305	151.67	363	183.90
190	87.78	248	120.00	306	152.23	364	184.45
191	88.34	249	120.56	307	152.78	365	185.00
192	88.90	250	121.11	308	153.34	366	185.56
193	89.45	251	121.67	309	153.90	367	186.11
194	90.00	252	122.23	310	154.45	368	186.67
195	90.56	253	122.78	311	155.00	369	187.23
196	91.11	254	123.34	312	155.56	370	187.78
197	91.67	255	123.90	313	156.11	371	188.34
198	92.23	256	124.45	314	156.67	372	188.90
199	92.78	257	125.00	315	157.23	373	189.45
200	93.34	258	125.56	316	157.78	374	190.00
201	93.90	259	126.11	317	158.34	375	190.56
202	94.45	260	126.67	318	158.90	376	191.11
203	95.00	261	127.23	319	159.45	377	191.67
204	95.56	262	127.78	320	160.00	378	192.23
205	96.11	263	128.34	321	160.56	379	192.78
206	96.67	264	128.90	322	161.11	380	193.34
207	97.23	265	129.45	323	161.67	381	193.90
208	97.78	266	130.00	324	162.23	382	194.45
209	98.34	267	130.56	325	162.78	383	195.00
210	98.90	268	131.11	326	163.34	384	195.56
211	99.45	269	131.67	327	163.90	385	196.11
212	100.00	270	132.23	328	164.45	386	196.67
213	100.56	271	132.78	329	165.00	387	197.23
214	101.11	272	133.34	330	165.56	388	197.78
215	101.67	273	133.90	331	166.11	389	198.34
216	102.23	274	134.45	332	166.67	390	198.90
217	102.78	275	135.00	333	167.23	391	199.45
218	103.34	276	135.56	334	167.78	392	200.00

272. Les *thermomètres à gaz* présentent sur le thermomètre à mer-ure, et en général sur les thermomètres formés par les substances ›lides et liquides, un avantage qui tient à la grandeur de la dilata-on de la substance thermométrique. Dans un thermomètre quel-›nque, formé par une substance liquide ou gazeuse, les indications e l'instrument dépendent de la dilatation de cette substance et de elle de l'enveloppe. Or la dilatation du mercure n'est guère que sept ›is celle du verre qui le renferme; les variations que l'on remarque ans la loi de dilatation des différentes espèces de verre forment donc es fractions très-sensibles des dilatations apparentes du mercure, t influent par suite d'une manière notable sur les indications de instrument. Dans le thermomètre à gaz, au contraire, la dilatation u gaz étant 160 fois celle du verre, les variations dans la loi de dila-ation des diverses espèces de verre n'influent plus sensiblement sur es indications de l'appareil, et n'empêchent pas les instruments l'être comparables.

Le gaz d'un thermomètre peut se trouver dans des conditions telles, ue la pression soit constante et que son volume varie, ou que son olume soit constant et que sa pression varie.

Fig. 61.

Dans le premier cas, fig. 61 :

Le thermomètre à gaz est composé d'un réservoir A, que l'on place dans l'enceinte dont on veut connaître la température; d'un tube calibré *df*, réuni au réservoir A, par un tube capillaire *ab* qui l'éloigne de l'enceinte; d'un tube *cd*, ouvert à sa partie supérieure, et par lequel on introduit du mercure dans l'appareil; enfin d'un robinet *r*, établissant à volonté la communication: 1° entre le tube *df* et l'atmosphère; 2° entre le bas du tube *cd* et l'atmosphère; 3° entre les deux tubes *df*, *cd*; 4° simultanément entre les tubes *df*, *cd* et l'atmosphère. La plaque de fonte *i*, qui relie les tubes et le robinet, porte deux pattes qui servent à fixer l'appareil contre une cloison pendant l'expérience.

Le tube calibré *df* remplit les fonctions de la tige divisée du thermomètre à mercure, et sert à recueillir le gaz que l'élévation de la température chasse du réservoir A; ce tube st d'ailleurs maintenu à une température constante peu différente le celle de l'air ambiant. A un moment quelconque de l'expérience, e gaz renfermé dans l'appareil se compose de deux parties : la pre-nière, qui occupe le réservoir A, se trouve à la température x; la econde, recueillie dans le tube *df*, se trouve à la température am-iante t. Ces deux portions de gaz supportent la même pression, que on peut d'ailleurs rendre aussi rapprochée que l'on veut de la pres-ion atmosphérique à l'aide du robinet r; on établit la communica-ion simultanée entre les deux tubes *df*, *cd*, et avec l'atmosphère, de manière à faire écouler le mercure jusqu'à ce qu'il ait pris le même niveau dans les deux tubes.

Appelons :

- V le volume du réservoir A à la température 0°;
- k le coefficient de dilatation cubique moyen du réservoir A depuis 0° jusqu'à la température à évaluer x;
- α le coefficient de dilatation du gaz, que l'on suppose constant;
- v le volume que l'air occupe dans le tube gradué df à la température t, quand le réservoir A est placé dans la glace fondante;
- v' le volume que l'air occupe dans df à la même température t quand le réservoir A est à la température x;
- H la force élastique du gaz en millimètres; H sera égale à la pression atmosphérique si le mercure a le même niveau dans les deux tubes df, cd;
- H' la force élastique du gaz quand le réservoir A est à la température x; à l'aide du robinet r, on pourra faire en sorte que H' diffère le moins possible de H;
- δ la densité du gaz à 0° et sous la pression de 760 millimètres.

Suivant que le réservoir A est à la température 0° ou à la température x, le poids du gaz contenu dans l'appareil est exprimé par

$$\left(V + \frac{v}{1+\alpha t}\right)\delta \times \frac{H}{760} \quad \text{ou} \quad \left(V\frac{1+kx}{1+\alpha x} + v'\frac{1}{1+\alpha t}\right)\delta \times \frac{H'}{760}.$$

Ces deux poids étant nécessairement égaux, on a donc

$$\left(V + \frac{v}{1+\alpha t}\right)\frac{H}{H'} = V\frac{1+kx}{1+\alpha x} + \frac{v'}{1+\alpha t}$$

Équation qui permet de calculer x.

C'est cette disposition que M. Pouillet a employée comme pyromètre à air (*Traité de Physique*) (273); mais M. Regnault a cru devoir la rejeter pour thermomètre à air. Elle présente un inconvénient très-grave quand l'appareil est destiné à mesurer des températures élevées; dans ce cas, la plus grande partie de l'air vient dans le tube calibré df, et il n'en reste plus qu'une portion très-petite dans le réservoir A; de sorte que la partie qui sort encore par une nouvelle élévation de température est très-petite, et se mesure difficilement dans le tube calibré avec une précision suffisante.

Si la température x s'élève de dx, le volume v' devient $v' + dv'$ et l'on déduit de l'équation précédente

$$\frac{1}{V} \times \frac{1}{1+\alpha t} \times \frac{dv'}{dx} = \alpha\,\frac{1+kx}{(1+\alpha x)^2} - k\,\frac{1}{1+\alpha x}.$$

Ainsi dv', qui représente la sensibilité de l'appareil, varie à peu près en raison inverse du carré de $1 + \alpha x$.

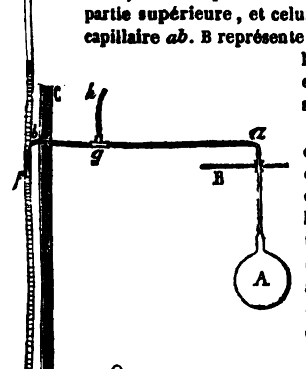
M. Regnault, dans ses recherches, a fait usage du thermomètre à air, dans lequel le volume du gaz est maintenu constant. La température est évaluée à l'aide de l'augmentation de force élastique du gaz, due à la dilatation qu'il aurait subie par suite de son accroissement de température, et cela en admettant la loi de Mariotte sur la compression des gaz (281). Ce thermomètre est plus commode que celui à pression constante, et il donne plus de précision; de plus,

il a l'avantage de présenter autant de sensibilité dans les hautes températures que dans les basses.

Si l'on veut mesurer des températures très-élevées, par exemple, si l'appareil doit servir comme pyromètre à air (273), la force élastique du gaz intérieur devenant très-considérable, il est à craindre que l'enveloppe ne subisse une déformation permanente sous l'influence de cette grande pression intérieure. On remédie à cet inconvénient en introduisant dans l'appareil de l'air sous une pression initiale plus faible que celle de l'atmosphère, lorsque le réservoir est à 0°. On peut, de cette manière, maintenir les forces élastiques entre des limites aussi resserrées que l'on veut. Il est clair, d'ailleurs, que l'appareil devient d'autant moins sensible que la force élastique du gaz à 0° est plus faible ; mais comme la mesure des forces élastiques se fait avec une précision extrême, les indications de l'appareil présentent encore une exactitude suffisante dans le plus grand nombre de cas, lors même que la pression initiale du gaz à 0° n'est que de 1/4 d'atmosphère.

Quoique la valeur absolue du coefficient de dilatation d'un gaz change très-notablement avec sa densité, il résulte des expériences faites par M. Regnault que des thermomètres à gaz, chargés avec des gaz de nature différente, marchent d'accord entre eux lorsqu'ils ont été réglés pour des points fixés de 0° et de 100°.

Fig. 62. La figure 62 représente la disposition employée par M. Regnault pour son thermomètre à gaz.



L'appareil se compose de deux tubes en verre *df*, *cd*, de 12 à 14 millimètres de diamètre intérieur, mastiqués dans une pièce de fonte *i* à robinet *r*, comme pour le thermomètre fig. 61. Le tube *cd* est ouvert à sa partie supérieure, et celui *df* communique avec le ballon A par un tube capillaire *ab*. B représente le couvercle de la chaudière dont on veut évaluer la température. CD cloison en bois à laquelle est fixé le manomètre-thermomètre, et qui le sépare de la chaudière.

La réunion des deux parties du tube capillaire *ab* se fait en amenant les bouts en contact, et en mastiquant par-dessus les deux bouts, qui ont le même diamètre, une petite tubulure *g* en laiton qui passe exactement à frottement. Cette tubulure reçoit un troisième tube capillaire *h* qui sert à mettre l'appareil en communication avec une pompe pneumatique, au moyen de laquelle on peut dessécher l'appareil et y introduire le gaz.

On commence par dessécher complétement l'appareil. A cet effet, on fait passer un peu de mercure dans le tube *bd*, et l'on tourne le robinet *r* de manière qu'il n'y ait communication du tube *bd*, ni avec le tube *cd*, ni avec l'ouverture libre du robinet; puis on met le tube *h* en communication

avec une pompe aspirante munie de plusieurs tubes remplis de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique concentré, qui sont destinés à absorber l'humidité. On fait le vide un grand nombre de fois, et on laisse rentrer chaque fois l'air très-lentement. Pour être sûr que la dessiccation est complète, on maintient le ballon chauffé à 50 ou 60°. On sépare alors la pompe, mais en laissant le tube *h* en communication avec un tube desséchant.

Cela fait, on enveloppe le ballon A de glace fondante, on établit la communication entre les tubes *bd*, *cd*; on verse du mercure dans le manomètre, de façon à affleurer le sommet de la colonne à un trait de repère *f* tracé sur le tube *bd*, très-près de son extrémité supérieure. Les deux colonnes de mercure se mettent de niveau, puisque l'appareil communique avec l'atmosphère par le tube *h*. On ferme alors le tube *h* à la lampe.

Si l'on voulait que la pression dans l'appareil fût inférieure à l'atmosphère, on pomperait par le tube *h*, et par la différence de niveau dans les deux colonnes du manomètre on jugerait quand la raréfaction serait convenable; on fermerait alors l'appareil en fondant à la lampe le tube *h*, puis on verserait du mercure dans le manomètre de manière à affleurer le ménisque au repère *f*.

Soient :

- H la pression atmosphérique;
- h la différence de niveau du mercure dans les deux branches du manomètre quand le ballon A est dans la glace fondante;
- $H-h$ la force élastique du gaz dans l'appareil;
- V la capacité à 0° du ballon A et de la portion de tube capillaire qui sera dans la chaudière.
- v le petit volume d'air contenu dans la portion *bf* du tube.
- v' *id.* dans le tube *ab* et l'appendice *gh*;
- t la température indiquée par un thermomètre placé près de *bf*;
- t' *id.* *id.* près de *ab*;
- t et t' doivent être les températures moyennes de l'air dans ces tubes, et dans la formule suivante on les suppose les mêmes avant et après l'expérience;
- δ la densité de l'air à 0° et sous la pression de 760 millimètres;
- α le coefficient de dilatation de l'air pour une force élastique initiale $H-h$.

Le poids de l'air contenu dans le thermomètre a pour expression :

$$\left(V + \frac{v}{1+\alpha t} + \frac{v'}{1+\alpha t'}\right)\delta \times \frac{H-h}{760}.$$

Le ballon A étant placé dans la chaudière ou dans tout autre milieu dont on veut évaluer la température, appelant :

- x la température à déterminer;
- k le coefficient de dilatation du verre du ballon A;
- H' la pression barométrique au moment où se termine l'expérience, H' ne peut différer de H que de très-peu;

h' la différence du niveau du mercure dans les deux branches du manomètre;
$H' \pm h'$ la force élastique du gaz dans l'appareil. Le niveau du mercure devant être maintenu en f dans le tube bd, ce que l'on fait en introduisant du mercure dans le manomètre, h' s'ajoute à H' ou s'en retranche suivant que le niveau du mercure est au-dessus ou au-dessous du repère f dans le tube cd.

Le poids de l'air contenu dans l'appareil a alors pour expression

$$\left(V\frac{1+kx}{1+\alpha x}+\frac{v}{1+\alpha t}+\frac{v'}{1+\alpha t'}\right)\delta \times \frac{H' \pm h'}{760}.$$

Le poids de l'air de l'appareil n'ayant évidemment pas changé, on a

$$\left(V+\frac{v}{1+\alpha t}+\frac{v'}{1+\alpha t'}\right)(H-h)=\left(V\frac{1+kx}{1+\alpha x}+\frac{v}{1+\alpha t}+\frac{v'}{1+\alpha t'}\right)(H'\pm h').$$

Équation de laquelle on tire x.

Quand l'air est introduit à la pression atmosphérique H dans l'appareil, on fait $h = 0$, et on remplace $\pm h'$ par $+ h'$ dans les expressions et la formule précédentes.

On conçoit qu'un second thermomètre à gaz, placé à côté du premier dans des conditions identiques, fournirait une formule semblable à la précédente, et donnerait pour x la même valeur que celle-ci, si les deux thermomètres sont comparables. C'est en opérant ainsi que M. Regnault a reconnu :

1° Que l'air atmosphérique suit la même loi de dilatation depuis 0° jusqu'à 300°, lors même que sa force élastique initiale à 0° varie depuis 0m,400 jusqu'à 1m,300 ; d'où il résulte que dans la construction d'un thermomètre à air on n'aura pas à se préoccuper de la densité de l'air introduit; *les instruments seront comparables quelle que soit cette densité.*

2° L'air atmosphérique, l'hydrogène et l'acide carbonique possèdent, entre 0° et 350°, sensiblement la même loi de dilatation, bien que leurs coefficients de dilatation soient notablement différents. Ainsi des thermomètres construits avec ces différents gaz marcheront d'accord, pourvu que l'on calcule les températures avec le coefficient propre à chacun d'eux. Il résulte de là que les coefficients de dilatation de ces gaz présentent sensiblement le même rapport à toutes les températures.

3° Le gaz acide sulfureux s'écarte notablement de la loi de dilatation que présentent les gaz précédents. Le coefficient de dilatation de l'acide sulfureux diminue avec la température prise sur sur le thermomètre à air; c'est ce que fait voir le tableau suivant, qui donne le coefficient moyen de dilatation par degré centigrade :

de 0° à	98°,12	0,0038251
id.	102°,45	0,0038225
id.	185°,42	0,0037999
id.	257°,17	0,0037923
id.	299°,90	0,0037913
id.	310°,31	0,0037893

Il est évident que la variation du coefficient de dilatation réel est encore plus considérable que ne l'indique le tableau, qui donne les coefficients moyens toujours à partir de 0°.

Lorsqu'on n'a qu'une température à déterminer, on peut opérer ainsi qu'il suit avec le thermomètre à air.

On munit la tubulure g, *fig.* 62, d'un robinet semblable au robinet r. Établissant la communication de bg avec gh, on remplit le manomètre de mercure jusqu'au point g; on intercepte cette communication, puis on établit la communication du ballon A avec gh, et on remplit ce ballon d'air sec. Cela fait, on place le ballon dans l'enceinte, de manière qu'une très-petite portion de son tube capillaire, qui peut être droit suivant les circonstances, sorte de l'enceinte; on laisse libre la communication du ballon avec le tube desséchant. Au moment où l'on veut déterminer la température, on supprime toute communication de gh avec A et le manomètre, et on observe le baromètre qui donne la pression atmosphérique à cet instant. On retire l'appareil et on le laisse revenir à la température ambiante.

On enveloppe le réservoir A et son tube capillaire de glace fondante, puis on fait couler le mercure du manomètre, de façon à avoir dans le tube df une dépression de 6 à 7 décimètres au-dessous du niveau ab; on établit alors la communication entre le ballon A et le manomètre, une portion de l'air du ballon A passe dans le tube df. On verse du mercure dans le tube cd pour amener exactement le niveau au repère f marqué sur le tube bd. On mesure la différence des colonnes de mercure du manomètre, et l'on observe de nouveau la hauteur du baromètre.

Appelant :

- V la capacité du ballon et de son tube capillaire jusqu'à g à 0°;
- H la hauteur barométrique au moment de la fermeture du robinet g;
- T la température de l'enceinte et du réservoir au moment de la fermeture du robinet g;
- v la capacité du tube capillaire gbf;
- h la différence de hauteur des deux colonnes du manomètre quand l'air de l'appareil est ramené à 0°;
- H' la hauteur du baromètre à cet instant;
- t la température marquée par un thermomètre dans le voisinage du tube gbf;
- k et α les coefficients de dilatation de l'enveloppe et du gaz.

Le poids de l'air contenu dans l'appareil a pour expression, quand on ferme le robinet g,

$$V\frac{1+kT}{1+\alpha T}\times\delta\times\frac{H}{760}.$$

Ce poids, quand l'appareil est à 0°, a pour expression

$$\left(V+v\frac{1}{1+\alpha t}\right)\delta\times\frac{H'-h}{760}.$$

n a donc, en égalant ces deux poids, supprimant les facteurs comuns et divisant par V,

$$\frac{1+kT}{1+\alpha T}\,H = \left(1 + \frac{v}{V} \times \frac{1}{1+\alpha t}\right)(H'-h).$$

quation qui donne la valeur de T.

L'avantage principal de cette manière d'opérer consiste en ce que réservoir éprouve toujours la même pression sur ses parois intéieure et extérieure pendant qu'il est échauffé, et qu'il n'y a pas de éformation permanente à craindre tant que l'on n'atteindra pas la mpérature à laquelle le verre commence à se ramollir.

273. *Pyromètre à air* (275). La disposition précédente est aussi rès-convenable pour un pyromètre à air. Le ballon de verre A est emplacé dans ce cas par une boule en platine d'une aussi grande apacité que possible, sur laquelle on a soudé à l'or un tube capilaire en platine, que l'on pourra fabriquer en étirant à la filière un ube d'un diamètre plus grand rempli de plomb ou d'étain. Quand tube est étiré, on fait fondre le plomb ou l'étain, dont on facilite écoulement avec un petit fil de fer. On achève le nettoyage du tube vec un acide.

La sensibilité de l'appareil sera moins grande dans les hautes que ans les basses températures; mais elle sera toujours suffisante, parce ue la mesure des forces élastiques du gaz comporte une grande préision.

Suivant que l'appareil aura été porté à la température de

60, 1000, 1500, 2000°,

0°. la force élastique en millim. sera respectivement :

237, 163, 117, 91.

La plus grande cause d'incertitude provient de ce que l'on ne conaît pas la loi de la dilatation de l'enveloppe, c'est-à-dire les valeurs e k à ces hautes températures; mais cette cause ne peut jamais mener d'erreurs bien considérables.

Il convient, toutes les fois que cela est possible, de disposer le hermomètre à air de manière qu'on puisse déterminer directement, ar l'expérience, les forces élastiques à 0° et à 100°, le réservoir étant longé dans la glace fondante ou maintenu dans la vapeur de l'eau ouillante. Mais il arrivera souvent que la détermination directe des eux points fixes de l'échelle thermométrique sera impossible, lorsque, par exemple, le thermomètre sera disposé dans des vases où il st difficile de pénétrer; on sera alors obligé de prendre le point de départ du thermomètre à air à la température du milieu ambiant

prise sur un thermomètre à mercure, et de déduire ensuite par le calcul les éléments qui conviennent à l'appareil pour la température de la glace fondante.

Si le thermomètre renferme de l'air ayant une force élastique de 760 millim. à 0°, aux températures plus élevées :

100°, 200°, 300°, 350°, 400°, 500°, 600°, 700°, 800°,

il présentera les forces élastiques respectives :

1036, 1311, 1584, 1720, 1856, 2126, 2394, 2661, 2925 millim.

Si la température ne dépasse pas 350°, la force élastique de l'air intérieur ne deviendra pas plus grande que 1720 millim.; la pression effective, sur les parois, ne dépassera pas 1720—760 = 960 millim.; elle sera donc trop faible pour qu'il y ait à craindre une déformation permanente de l'enveloppe. Mais dans les températures plus élevées, on a à craindre une déformation permanente pour deux raisons :

1° La pression intérieure devient considérable;

2° Le verre peut éprouver un ramollissement sensible.

Il convient donc d'introduire dans le thermomètre de l'air avec une force élastique plus faible, lorsque le thermomètre est destiné à la mesure de températures très-élevées. Si l'air présentait à 0° une force élastique de 300 millim., il acquerrait à 500° une force élastique de 850 millim., qui ne surpasse la pression extérieure que de 90 millim.

274. *Thermomètre à mercure.* Ce thermomètre n'étant pas un instrument comparable au delà des températures qui ont servi à déterminer les points fixes de son échelle, on ne devra pas s'en servir, dans des expériences précises, pour mesurer des températures élevées; il faudra avoir recours au thermomètre à air (272). Mais l'emploi de ce dernier appareil est beaucoup plus difficile; il exige des manipulations très-délicates, et il peut se présenter des circonstances dans lesquelles le thermomètre à air devient complétement inapplicable : telle est, par exemple, celle où l'on a à déterminer des températures dans des espaces très-rétrécis; il faut alors se servir nécessairement d'un thermomètre à mercure; mais il convient de faire préalablement une comparaison directe de cet instrument avec un thermomètre à air.

En opérant comme pour des thermomètres de gaz différents (P. 347), M. Regnault a comparé au thermomètre à air des thermomètres à mercure faits avec différents verres; le tableau suivant contient les résultats qu'il a obtenus.

TEMPÉRATURES du thermomètre à air.	TEMPÉRATURES DU THERMOMÈTRE A MERCURE.			
	Cristal de Choisy-le-Roi.	Verre ordinaire à tubes, ballons et cornues.	Verre vert peu fusible.	Verre de Suède très-infusible.
100°	100°.00	100°.00	100°.00	100°.00
110	110.05	109.98	110.03	110.02
120	120.12	119.95	120.08	120.04
130	130.20	129.91	130.14	130.07
140	140.29	139.85	140.21	140.11
150	150.40	149.80	150.30	150.45
160	160.52	159.74	160.40	160.20
170	170.65	169.68	170.50	170.26
180	180.80	179.63	180.60	180.33
190	191.01	189.65	190.70	190.41
200	201.25	199.70	200.80	200.50
210	211.53	209.75	211.00	210.64
220	221.82	219.80	221.20	220.75
230	232.16	229.85	231.42	230.90
240	242.55	239.90	241.60	241.16
250	253.00	250.05	251.85	251.44
260	263.44	260.20	262.15	
270	273.90	270.38	272.50	
280	284.48	280.52	282.85	
290	295.40	290.80	293.30	
300	305.72	301.08		
310	316.45	311.45		
320	327.25	321.80		
330	338.22	332.40		
340	349.30	343.00		
350	360.50	354.00		

Compositions chimiques moyennes des enveloppes de ces thermomètres à mercure, densités de ces enveloppes, dilatation k de ces enveloppes quand on porte leur température de 0° à 100°, et dilatation apparente k' du mercure qu'elles contiennent pour la même élévation de température.

Silice.	54.16	70.48	68.58	71.37
Alumine . . .	0.52	0.46	1.23	0.33
Oxyde de fer. .	»	0.28	1.84	Traces.
Oxyde de manganèse. . .	»	0.19	0.46	*id.*
Chaux.	0.36	8.75	14.07	9.36
Potasse. . . .	9.23	2.14	2.00	17.23
Soude.	0.90	17.20	12.00	1.79
Magnésie. . .	»	»	»	Traces.
Oxyde de plomb	34.62	»	»	»
	99.79	99.80	100.48	100.08
Densités. . . .	3.304	2.455	2.481	2.440
$k=$	0.002144	0.002686	0.002324	0.002492
$k'=$	0.015974	0.015426	0.015789	0.015621

M. Regnault a posé la formule d'interpolation à deux termes suivante, pour établir *la relation qui existe entre la dilatation cubique du*

verre et sa température. Cette formule ne représente pas ses observations d'une manière satisfaisante; mais elle suffit cependant lorsqu'on se propose seulement de calculer les tables de dilatation du verre, qui sont nécessaires pour corriger les thermomètres à air des dilatations de leurs enveloppes.

Cette formule est :

$$k_T = a + bT + cT^2.$$

k_T dilatation cubique du verre de 0° à T°;
T température indiquée par le thermomètre à air;
$a = 0$ pour le cristal de Choisy-le-Roi, et $a = 0$ pour le verre ordinaire;
$\log b = \bar{4},4957769$ *id.* et $\log b = \bar{5},4174928$ *id.*
$\log c = \bar{8},2580666$ *id.* et $\log c = \bar{8},4694500$ *id.*

C'est à l'aide de cette formule que M. Regnault a calculé le tableau suivant, pour le cristal de Choisy-le-Roi et le verre ordinaire en tubes, seules qualités de verre qu'il ait employées à la construction des thermomètres à air.

Comme les dilatations absolues du mercure croissent à peu près proportionnellement aux températures, les résultats obtenus par M. Regnault se trouvent représentés d'une manière satisfaisante par la formule d'interpolation à deux termes

$$\delta_T = bT + cT^2,$$

dont les constantes ont été calculées avec les données suivantes :

$$T = 150°, \quad \delta_T = 0,027419, \quad \text{et} \quad T = 300°, \quad \delta_T = 0,055973.$$

δ_T dilatation absolue du mercure quand on porte sa température de 0° à T°, en admettant la valeur de k_T du tableau suivant;
T température indiquée par le thermomètre à air;
$\log b = \bar{4},2528690$, $\log c = \bar{8},4019441$.

C'est à l'aide de cette dernière formule que l'on a calculé les dilatations δ_T du tableau suivant.

La cinquième colonne du tableau donne les coefficients réels de dilatation absolue du mercure, lorsqu'il passe de la température T à celle immédiatement supérieure $T + dT$. Ces coefficients, qui représentent les inclinaisons de la tangente en chaque point de la courbe ayant les valeurs de T pour abscisses et celles de δ_T pour ordonnées (9 et 10), sont donnés par la relation

$$\frac{d\delta_T}{dT} = b + 2cT.$$

La sixième colonne du tableau contient les températures θ que marquerait un thermomètre qui serait fondé sur la dilatation absolue du mercure. Ces températures sont données par la formule

$$\theta = 100 \times \frac{\delta_T}{\delta_{100}} = 100 \frac{\delta_T}{0,018153}.$$

T Température du therm. à air.	Dilatation cubique k_T de 0° à T°. Cristal de Choisy-le-Roi.	Verre ordinaire.	Dilatation absolue du mercure de 0° à T°. δ_T.	Coefficient réel de dilatation à T°. $\frac{d\delta_T}{dT}$.	Température déduite de la dilatation absolue du mercure. θ
0°	0.000 000	0.000 000 0	0.000 000	0.000 179 05	0°
10	0.000 227	0.000 262 8	0.001 792	179 50	9.872
20	454	528 5	3 590	180 01	19.776
30	681	797 3	5 393	180 51	29.709
40	909	0.001 068 9	7 201	181 02	39.668
50	0.001 137	1 343 5	9 013	181 52	49.650
60	1 368	1 624 1	0.010 831	182 03	59.665
70	1 594	1 901 6	12 655	182 53	69.713
80	1 825	2 185 1	14 482	183 04	79.777
90	2 054	2 471 6	16 315	183 54	89.875
100	0.002 284	0.002 760 9	0.018 153	0.000 184 05	100 »
110	2 516	3 053 2	19 996	184 55	110.153
120	2 747	3 348 6	21 844	185 05	120.333
130	2 980	3 646 8	23 697	185 56	130.540
140	3 212	3 947 9	25 555	186 06	140.776
150	3 445	4 252 5	27 419	186 57	151.044
160	3 678	4 560 0	29 287	187 07	161.334
170	3 912	4 870 5	31 160	187 58	171.652
180	4 146	5 182 2	33 039	188 08	182.003
190	4 380	5 496 7	34 922	188 59	192.376
200	0.004 616	0.005 817 1	0.036 811	0.000 189 09	202.782
210	4 851	6 138 3	38 704	189 59	213.210
220	5 088	6 463 6	40 603	190 10	223.671
230	5 325	6 791 9	42 506	190 61	234.154
240	5 561	7 123 2	44 415	191 11	244.670
250	5 799	7 455 9	46 329	191 61	255.214
260	6 037	7 792 2	48 247	192 12	265.780
270	6 275	8 132 4	50 171	192 62	276.379
280	6 514	8 475 6	52 100	193 13	287.005
290	6 753	8 821 8	54 034	193 63	297.659
300	0.006 994	0.009 168 6	0.055 973	0.000 194 13	308.340
310	7 234	9 520 1	57 917	194 64	319.048
320	7 474	9 875 2	59 866	195 15	329.786
330	7 716	0.010 233 3	61 820	195 65	340.550
340	7 958	10 594 4	63 778	196 16	351.336
350	8 199	10 958 5	65 743	196 66	362.160

Pour avoir la dilatation moyenne pour 1°, de 0° à T°, il suffit de diviser le nombre d'une des colonnes deux, trois, quatre, correspondant à T°, par T; ainsi, par exemple, le coefficient moyen de dilatation du cristal de Choisy-le-Roi, entre 0° et T = 200° est

$$\frac{0,004616}{200} = 0,00002308.$$

275. *Pyromètre de Wedgwood* (273). Cet instrument, fondé sur le retrait qu'éprouve un cône d'argile lorsqu'on le soumet à une température élevée, sert à évaluer les hautes températures. Le 0° de cet instru-

ment correspond à la température de 580°,56 centigrades; c'est la température du rouge naissant, à laquelle on fait recuire les cônes d'argile. L'échelle porte ensuite 240 divisions qu'on suppose équivaloir chacune à 72°,22 centigrades. L'échelle est placée sur une règle accompagnée d'une autre faisant avec la première un certain angle; de sorte qu'en faisant glisser entre ces deux règles le cône d'argile, qui a été placé pendant un temps convenable dans le milieu dont on veut mesurer la température pour prendre lui-même cette température, le point de l'échelle où il s'arrête indique la température cherchée. Le retrait de l'argile pouvant ne pas être proportionnel à la température, on ne doit regarder les indications du pyromètre que comme des valeurs approchées. Cet instrument est surtout utile pour reconnaître les variations de température.

276. *TABLEAU de la température de fusion de quelques corps.*

DÉSIGNATION DES CORPS.	TEMPÉRATURE en degrés centigr.	DÉSIGNATION DES CORPS.	TEMPÉRATURE en degrés centigr.
Mercure	—40°	Alliage de étain 1 part., plomb 1	[illegible]
Essence de térébenthine	—10	Alliage de *id.* 1, *id.* 3	[illegible]
Glace	0	Alliage de *id.* 2, *id.* 1	[illegible]
Suif	33.33	Alliage de *id.* 3, *id.* 1	[illegible]
Phosphore	43	Alliage de *id.* 4, *id.* 1	[illegible]
Acide acétique	45	Alliage de *id.* 5, *id.* 1	[illegible]
Stéarine	43 à 49	Étain	[illegible]
Spermacéti	49	Bismuth	[illegible]
Acide margarique	55 à 60	Plomb	[illegible]
Potassium	58	Zinc	[illegible]
Cire non blanchie	62	Antimoine	[illegible]
Cire blanche	68	Bronze	[illegible]
Acide stéarique	70	Argent très-pur	[illegible]
Sodium	90	Or au titre des monnaies	[illegible]
Alliage de plomb 1 part., étain 1, bismuth 4	94	Or très-pur	[illegible]
Alliage de *id.* 5, *id.* 3, *id.* 8	100	Fonte blanche très-fusible	[illegible]
Alliage de *id.* 2, *id.* 3, *id.* 5	100	Fonte blanche peu fusible	[illegible]
Iode	107	Fonte grise très-fusible	[illegible]
Soufre	115	Fonte grise, 2° fusion	[illegible]
Alliage de étain 4 part., bismuth 5, plomb 1	118.9	Fonte manganésée	[illegible]
Alliage de *id.* 1, *id.* 1	141.2	Aciers, les plus fusibles	[illegible]
Alliage de *id.* 2, *id.* 1	167.7	Aciers, les moins fusibles	[illegible]
Alliage de *id.* 3, plomb 1	167.7	Fer doux français	[illegible]
Alliage de *id.* 3, bismuth 1	200	Fer martelé anglais	[illegible]

277. Une lame de fer parfaitement décapée, chauffée lentement au contact de l'air, prend les teintes suivantes :

1° Blanc de fer froid à environ	12°	4° Rouge à	265°	7° Bleu à	[illegible]
2° Jaune à	225°	5° Violet à	277°	8° Vert à	[illegible]
3° Orangé à	243°	6° Indigo à	288°	9° Gris d'oxyde à	[illegible]

TABLEAU des températures correspondant à différentes nuances lumineuses, d'après les expériences de M. Pouillet, à l'aide d'un pyromètre à air (page 344).

NUANCES.	TEMPÉRATURES en degrés centigr.	NUANCES.	TEMPÉRATURES en degrés centigr.
Rouge naissant. . . .	525	Orange foncé.	1100
Rouge sombre.	700	Orange clair.	1200
Cerise naissant. . . .	800	Blanc.	1300
Cerise.	900	Blanc suant.	1400
Cerise clair.	1000	Blanc éblouissant. . .	1500

DILATATION.

278. *Dilatation des solides par la chaleur.* Tous les corps jouissent de la propriété de se dilater par la chaleur, mais à des degrés différents.

TABLEAU de la dilatation linéaire, c'est-à-dire de l'accroissement de chacune des dimensions, longueur, largeur et épaisseur des corps solides, quand on porte la température de ce corps de 0° à 100°, en prenant pour unité la dimension choisie à 0°. La dilatation moyenne pour 1° s'obtient en divisant par 100 les nombres du tableau.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	DILATATIONS EN FRACTIONS décimales.	ordinaires.
1° D'APRÈS LAVOISIER ET LAPLACE.		
Flint-glass anglais.	0.000 811 66	1/1248
Platine (selon Borda).	0.000 856 55	1/1167
Verre de France avec plomb.	0.000 871 99	1/1147
Tube de verre sans plomb.	0.000 875 72	1/1142
Id.	0.000 896 94	1/1115
Id.	0.000 897 60	1/1114
Id.	0.000 917 50	1/1090
Verre de Saint-Gobain.	0.000 890 89	1/1122
Acier non trempé	0.001 078 80	1/927
Id.	0.001 079 15	1/927
Id.	0.001 079 60	1/926
Acier trempé jaune, recuit à 65°.	0.001 239 56	1/807
Fer doux forgé.	0.001 220 45	1/819
Fer rond passé à la filière.	0.001 235 04	1/812
Or de départ	0.001 466 06	1/682
Or au titre de Paris, recuit.	0.001 513 61	1/661
Id. non recuit.	0.001 551 55	1/645
Cuivre.	0.001 712 20	1/584
Id.	0.001 717 33	1/582
Id.	0.001 722 40	1/581

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	DILATATIONS EN FRACTIONS	
	décimales.	ordinaires.
Cuivre jaune ou laiton.	0.001 866 70	1/535
Id.	0.001 878 21	1/533
Id	0.001 889 70	1/529
Argent au titre de Paris.	0.001 908 68	1/524
Argent de coupelle.	0.001 909 74	1/524
Étain des Indes ou de Malacca.	0.001 937 65	1/516
Étain de Falmouth.	0.002 172 98	1/462
Plomb.	0.002 848 36	1/351
2° D'APRÈS SMEATON.		
Verre blanc (tubes de baromètres).	0.000 833 33	1/1173
Régule martial d'antimoine.	0.001 083 33	1/923
Acier.	0.001 150 00	1/870
Acier trempé.	0.001 225 00	1/816
Fer.	0.001 258 33	1/795
Bismuth.	0.001 391 67	1/719
Cuivre rouge battu.	0.001 700 00	1/588
Cuivre rouge 8 parties, étain 1 partie.	0.001 816 67	1/550
Cuivre jaune fondu.	0.001 875 00	1/533
Cuivre jaune 16 parties, étain 1 partie.	0.001 908 33	1/524
Fil de laiton.	0.001 933 33	1/517
Métal de miroir de télescope.	0.001 933 33	1/517
Soudure, cuivre 2 parties, zinc 1 partie.	0.002 058 33	1/486
Étain fin.	0.002 283 33	1/438
Étain en grains.	0.002 483 33	1/403
Soudure blanche, étain 1 partie, plomb 2 parties. .	0.002 505 33	1/399
Zinc 8 parties, étain 1 partie, un peu forgé. . . .	0.002 691 67	1/372
Plomb.	0.002 866 67	1/349
Zinc.	0.002 941 67	1/340
Zinc allongé au marteau de $\frac{1}{12}$.	0.003 108 33	1/322
3° D'APRÈS LE MAJOR GÉNÉRAL ROY.		
Verre en tube.	0.000 775 50	1/1289
Verre en verge solide.	0.000 808 33	1/1237
Fer fondu (prisme de).	0.001 110 00	1/901
Acier (verge d').	0.001 144 50	1/874
Cuivre jaune de Hambourg.	0.001 855 50	1/539
Cuivre jaune anglais, en forme de verge.	0.001 892 96	1/528
Id. en forme d'auge ou canal rectangulaire.	0.001 894 50	1/528
4° D'APRÈS M. TROUGHTON.		
Platine.	0.000 991 80	1/1008
Acier.	0.001 189 90	1/840
Fer tiré à la filière.	0.001 440 10	1/694
Cuivre.	0.001 918 80	1/521
Argent.	0.002 082 60	1/480
5° D'APRÈS M. WOLLASTON.		
Palladium.	0.001 000 00	1/1000

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	DILATATIONS EN FRACTIONS	
	décimales.	ordinaires.
6° D'APRÈS MM. DULONG ET PETIT.		
..tine de 0° à 100°.	0.000 884 20	1/1131
Id. de 0° à 300°.	0.002 754 82	1/363
..rre, de 0° à 100°.	0.000 861 33	1/1161
Id. de 0° à 200°.	0.001 845 02	1/544
Id. de 0° à 300°.	0 003 032 52	1/329
..r, de 0° à 100°.	0.001 182 10	1/846
I. de 0° à 300°.	0.004 405 28	1/227
..ivre, de 0° à 100°.	0.001 718 20	1/582
Id. de 0° à 300°.	0.005 649 72	1/177
7° D'APRÈS M. FROMENT.		
..latine, un mètre-type.	0.0007492	1/1335

..our des températures inférieures à 100°, la dilatation est à peu près ..portionnelle au nombre de degrés ; mais au delà, d'après les expé..ces de Dulong et Petit, dont les résultats sont consignés au tableau ..cédent, la dilatation croît sensiblement avec le degré de tempéra..e.

..a *dilatation superficielle d'un solide* est à peu près égale au double ..a dilatation linéaire, c'est-à-dire que si, pour un certain nombre ..egrés, la longueur d'un solide augmente de 1/100 de sa longueur .. sa surface augmentera, pour le même nombre de degrés, de 2/100 ..a surface à 0°.

..a *dilatation cubique des solides* est à près égale au triple de la ..tation linéaire.

..79. *Dilatation des liquides par la chaleur.*

..LEAU *de la dilatation apparente de quelques liquides, dans le verre, lorsqu'on ..e leur température de 0° à 100°.* La dilatation pour 1° s'obtient en divisant par ..0 les nombres du tableau.

DÉSIGNATION DES LIQUIDES.	DILATATIONS APPARENTES EN	
	fractions décimales.	fractions ordinaires.
..u.	0.0466	1/22
..de chlorhydrique (densité 1,137).	0.0600	1/17
..de azotique (densité 1,40).	0.1100	1/9
..de sulfurique (densité 1,85).	0.0600	1/17
..her sulfurique.	0.0700	1/14
..ile d'olive et de lin.	0.0800	1/12

DÉSIGNATION DES LIQUIDES.	DILATATIONS APPARENTES EN	
	fractions décimales.	fractions ordinaires.
Essence de térébenthine.	0.0700	1/14
Eau saturée de sel marin.	0.0500	1/20
Alcool.	0.1100	1/9
Mercure.	0.0156	1/64
DILATATION ABSOLUE.		
Mercure, de 0° à 100° (Dulong et Petit).	0.0180180	1/55.50
Id. de 100° à 200°. . . . . . *id.*	0.0184331	1/54.25
Id. de 200° à 300°. . . . . . *id.*	0.0188679	1/53.
Id. de 0° à 100° (M. Regnault).	0.018153	1/55.12

280. *Dilatation des gaz par la chaleur.* D'après les expériences de M. Gay-Lussac, tous les gaz, soumis à une pression constante, se dilatent de la même manière, et de $\frac{1}{267} = 0,00375$ de leur volume à 0°, par degré centigrade; mais de nouvelles expériences, faites par M. Rudberg, ont donné 0,003646, et d'autres, plus récentes encore, faites par M. Regnault, ont donné pour l'air sec 0,003 670, qui diffère peu de 0,003 666 ... $= \frac{11}{3000}$, valeur très-commode à employer dans les calculs.

Lorsque l'air conserve le même volume, M. Regnault adopte le coefficient de dilatation 0,003 665.

TABLEAU de la dilatation absolue de quelques gaz lorsqu'on porte leur température de 0° à 100°, d'après les expériences de M. Regnault.

DÉSIGNATION DES GAZ.	DILATATION	
	sous volume constant.	sous pression constante.
Hydrogène.	0.3667	0.3661
Air atmosphérique.	0.3665	0.3670
Azote.	0.3668	»
Oxyde de carbone.	0.3667	0.3669
Acide carbonique.	0.3688	0.3710
Protoxyde d'azote.	0.3676	0.3719
Acide sulfureux.	0.3845	0.3903
Cyanogène.	0.3829	0.3877

Ces résultats font voir que les coefficients de dilatation des gaz ne ont pas égaux, comme on l'a admis jusqu'ici.

ABLEAU de la dilatation de l'air à différentes pressions, sous volume constant.

PRESSION à 0°.	PRESSION à 100°.	DENSITÉ de l'air à 0°, en posant = 1 celle de l'air à 0° sous la pression 760 mm.	DILATATION.
mm.	mm.		
109.72	149.04	0.1444	0.364 82
174.36	237.17	0.2294	0.365 13
266.06	395.07	0.3501	0.365 42
374.67	510.35	0.4930	0.365 87
375.23	540.97	0.4937	0.365 72
760.00	....	1.0000	0.366 50
1678.40	2286.09	2.2084	0.367 60
1692.53	2305.23	2.2270	0.368 00
2144.18	2924.04	2.8213	0.368 94
3655.56	4992.09	4.8100	0.370 91

Résultats analogues fournis par l'acide carbonique.

PRESSION à 0°.	PRESSION à 100°.	DENSITÉ relative du gaz à 0°.	DILATATION.
mm.	mm.		
758.47	1034.54	1.0000	0 368 56
901.09	1230.37	1.1879	0.369 43
1742.73	2387.72	2.2976	0.375 23
3589.07	4759.03	4.7318	0.385 98

[Dil]atation de quelques gaz à différentes pressions, ces pressions restant constantes.

AIR.		HYDROGÈNE.		ACIDE CARBONIQUE.		ACIDE SULFUREUX.	
Pression.	Dilatation.	Pression.	Dilatation.	Pression.	Dilatation.	Pression.	Dilatation.
mm.		mm.		mm.		mm.	
760	0.367 06	760	0.366 13	760	0.370 99	760	0.390 2
2525	0.369 44	2545	0.366 16	2520	0.384 55	980	0.398 0
2620	0.369 64						

L'air atmosphérique suit la même loi de dilatation depuis 0° jusqu'à

350°, lors même que sa force élastique initiale à 0° est inférieure à l'atmosphère ; on peut donc employer de l'air à une pression inférieure à $0^m,76$ dans la construction des thermomètres (272, page 347).

281. *Influence de la température sur le volume des gaz.* On a, en supposant que la pression du gaz reste constante :

$$V' = V\frac{1+at'}{1+at}, \quad \text{et pour l'air} \quad V' = V\frac{1+0{,}003\,67t'}{1+0{,}003\,67t}.$$

V volume du gaz à la température t;
V' volume que prend le gaz à la nouvelle température t';
a coefficient de dilatation du gaz;
$1+at$ et $1+at'$ volumes que prend l'unité de volume du gaz à 0°, en passant aux températures t et t'.

Si la pression du gaz, au lieu de rester constante, avait changé, on aurait, en admettant la loi de Mariotte et en représentant par p la pression primitive, et par p' la pression nouvelle,

$$V' = V\frac{p}{p'} \times \frac{1+at'}{1+at}, \quad \text{et pour l'air} \quad V' = V\frac{p}{p'} \times \frac{1+0{,}003\,67t'}{1+0{,}003\,67t}.$$

C'est-à-dire que les volumes d'un même gaz à deux températures et à deux pressions différentes sont entre eux comme les volumes que prend l'unité de volume à 0° en passant aux deux températures, et en raison inverse des pressions. Les densités sont en raison inverse des volumes.

COMPRESSIBILITÉ.

282. *Compressibilité des gaz.* Mariotte avait posé pour tous les gaz la loi très-simple : *les volumes d'une même quantité de gaz dont la température reste constante varient en raison inverse des pressions* (281).

D'après les dernières expériences de M. Regnault, les gaz ne se comportent pas de la même manière, et ne suivent pas tout à fait cette loi.

M. Regnault a posé les formules suivantes pour représenter les résultats de ses expériences.

Appelant :

$m = \frac{V_0}{V}$ le rapport du volume V_0 d'un gaz sous la pression $1^m,00$ de mercure, au volume V qu'on lui fait prendre;
P la pression en mètres que prend le gaz réduit au volume V;
A et B des constantes,

On a:

1° Pour l'air atmosphérique,

$$P = m[1 - A(m-1) + B(m-1)^2],$$

$$\log A = \bar{3},0435120 \quad \text{et} \quad \log B = \bar{5},2873751 ;$$

2° Pour l'azote,

$$P = m[1 - A(m-1) + B(m-1)^2],$$

$$\log A = \bar{4},838375 \quad \text{et} \quad \log B = \bar{6},8476020 ;$$

3° Pour l'acide carbonique,

$$P = m[1 - A(m-1) - B(m-1)^2],$$

$$\log A = \bar{3},9340399 \quad \text{et} \quad \log B = \bar{6},8624721 ;$$

4° Pour l'hydrogène,

$$P = m[1 + A(m-1) + B(m-1)^2],$$

$$\log A = \bar{4},7381736 \quad \text{et} \quad \log B = \bar{6},9250787. \qquad (Int., 377.)$$

C'est à l'aide de ces formules qu'ont été calculés les résultats du tableau suivant, qui s'écartent, comme on voit, sensiblement de la loi de Mariotte.

VALEUR de m.	Pressions P correspondant aux valeurs de m pour			
	l'air.	l'azote.	l'acide carbonique.	l'hydrogène.
	m	m	m	m
1	1.000 000	1.000 000	1.000 00	1.000 000
2	1.997 828	1.998 634	1.982 92	2.001 110
3	2.993 601	2.995 944	2.948 73	3.003 384
4	3.987 432	3.991 972	3.897 36	4.006 856
5	4.979 440	4.986 760	4.828 80	5.011 615
6	5.969 748	5.980 350	5.742 96	6.017 676
7	6.958 455	6.972 791	6.639 85	7.025 102
8	7.945 696	7.964 112	7.519 36	8.033 944
9	8.931 573	8.954 361	8.381 52	9.044 244
10	9.916 220	9.943 590	9.226 20	10.056 070
11	10.899 724	10.931 833	10.053 45	11.069 454
12	11.882 232	11.919 120	10.863 24	12.084 456
13	12.863 838	12.905 516	11.655 41	13.101 114
14	13.844 670	13.891 052	12.430 18	14.119 504
15	14.824 845	14.875 770	13.186 95	15.139 650
16	15.804 480	15.859 712	13.926 08	16.161 632
17	16.783 675	16.842 920	14.647 71	17.185 470
18	17.762 562	17.825 436	15.351 48	18.211 230
19	18.741 258	18.807 321	16.037 33	19.238 963
20	19.719 880	19.788 580	16.705 40	20.268 720

Il convient de ne pas employer les formules précédentes pour des pressions qui dépassent notablement les plus élevées du tableau, limites auxquelles se sont élevées les expériences de M. Regnault.

Désignant par $z_1 - z_0$ la différence de niveau de deux points de l'atmosphère, par h la hauteur observée du baromètre au niveau z_0, et par $(h - \Delta h)$ la hauteur que marquerait ce même baromètre au niveau z_1, on peut, à cause de la faible valeur de la correction, admettre la formule réduite

$$z_1 - z_0 = 18393^{m} \times \log \frac{h}{h - \Delta h}.$$

En supposant h égal constamment à $0^{m},760$, la formule donne les résultats suivants :

$(z_1 - z_0)$	Δh	$z_1 - z_0$	Δh	$z_1 - z_0$	Δh	$z_1 - z_0$	Δh
mètres.	millim.	mètres.	millim.	mètres.	millim.	mètres.	millim.
1	0.095	7	0.666	13	1.236	19	1.806
2	0.190	8	0.761	14	1.331	20	[illegible]
3	0.285	9	0 856	15	1.426	21	1.997
4	0.380	10	0.951	16	1.521	22	2.092
5	0.475	11	1.046	17	1.616	23	2.187
6	0.571	12	1.141	18	1.711	24	2.282
						25	2.375

Ces différences de pressions ont été déterminées par M. Regnault dans ses expériences sur la compressibilité des gaz, pour tenir compte de la variation de la pression atmosphérique par suite de la variation du niveau du mercure dans le manomètre.

M. Regnault a aussi déterminé l'influence due à l'augmentation de densité du mercure par suite de sa compressibilité. Appelant :

$\mu = 0,00000463$ le coefficient de compressibilité du mercure sous la pression d'une colonne de mercure de 1 mètre ;

h la hauteur de la colonne de mercure normal, c'est-à-dire de mercure à 0° sous la pression atmosphérique, qui fait équilibre à la colonne z,

on a
$$h - z = \frac{\mu}{2}(z - 1,52)z ;$$

formule qui donne les résultats suivants :

z	h−z	z	h−z	z	h−z	z	h−z
mètres.	millim.	mètres.	millim.	mètres.	millim.	mètres.	millim.
1	−0.0012	7	0.0886	14	0.4036	21	0.9450
1,52	0.0000	8	0.1198	15	0.4671	22	1.0406
2	+0.0024	9	0.1555	16	0.5352	23	1.1413
3	0.0102	10	0.1959	17	0.6079	24	1.2463
4	0.0229	11	0.2409	18	0.6853	25	1.3560
5	0.0402	12	0.2904	19	0.7672		
6	0.0619	13	0.3448	20	0.8538		

On voit que ces corrections sont très-faibles, et qu'on peut les né-liger dans la pratique.

225. *Compressibilité des solides et des liquides.* Poisson, dans ses echerches sur l'élasticité, a posé la formule

$$k = \frac{3a}{2}.$$

Allongement que subit un cylindre d'une matière quelconque homogène, lorsqu'une de ses bases est fixe et que l'autre est tirée dans le sens de sa longueur par une force égale à P sur chaque unité de surface;

compression cubique que subit ce même cylindre lorsqu'il est soumis sur toute sa surface à une pression égale à P sur chaque unité de surface.

ABLEAU *des valeurs de* a *d'une tige de* 1 *mètre de longueur, pour une traction égale à une atmosphère, c'est-à-dire pour* P $=$ 0k.040298 *par millimètre de section, et de celles de* k*, calculées d'après la formule précédente.*

OBSERVATEURS.	MATIÈRES.	VALEURS de a.	VALEURS de k.
Colladon et Sturm.	Verre.	0.000 001 029 8	0.000 001 544 7
Savart.	Verre.	0.000 001 713 7 0.000 001 700 7	0.000 002 570 5 0.000 002 551 0
Wertheim et Chevandier.	Verre à vitre de Saint-Quirin. . .	0.000 001 300 8	0.000 001 951 2
	Glace de Cirey	0.000 001 468 0	0.000 002 202 0
	Verre à gobeleterie de Valéristhal.	0.000 001 494 6	0.000 002 241 9
	Cristal blanc de Baccarat	0.000 001 882 2	0.000 002 823 3
Wertheim.	Cuivre écroui et étiré.	0.000 000 828	0.000 001 242
	Id. *id.* et recuit.	0.000 000 980	0.000 001 469
	Laiton	0.000 001 013	0.000 001 518

D'après les expériences de M. Regnault sur la compressibilité des iquides, appelant :

δ la compressibilité apparente;
μ et k les compressibilités absolues du liquide et de l'enveloppe, calculées d'après les formules de M. Lamé,

on a en moyenne, pour une pression d'une atmosphère, les valeurs du tableau suivant :

LIQUIDES.	VALEURS		
	de δ.	de μ.	de k.
Eau dans une sphère en cuivre rouge.	0.000 046 392	0.000 047 709	0.000 001 347
Id. *id.* en laiton. . . .	0.000 046 847	0.000 048 288	0.000 001 440
Id. dans un cylindre de verre ordin.	0.000 044 304	0.000 046 677	0.000 002 368
Mercure dans *id.*	0.000 001 234	0.000 003 547	0.000 002 371

Pour l'eau, la valeur de μ devant évidemment être la même quelle que soit l'enveloppe, comme les différences trouvées sont trop considérables pour qu'on puisse les attribuer aux erreurs d'observation, il faut admettre, ou que les formules mathématiques ne représentent pas exactement le phénomène, ou bien que les expériences ne réalisent pas convenablement les conditions admises dans l'établissement des formules.

La compressibilité du mercure, sous une charge égale au poids d'une colonne de mercure d'un mètre, est

$$\mu' = 0,000004628.$$

M. Regnault a conclu de ses expériences, que la chaleur dégagée par une pression subite de 10 atmosphères sur l'eau est incapable d'élever sa température de 1/50 de degré centigrade.

CHALEUR SPÉCIFIQUE.

284. *Unité de chaleur.* On appelle unité de chaleur, la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un kilogramme d'eau de 0° à 1° (page 368).

285. *Chaleur spécifique.* La chaleur spécifique ou capacité calorifique d'un corps est le nombre d'unités de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un kilogramme de ce corps (290).

TABLEAU des chaleurs spécifiques de quelques corps, de 0° à 100°, d'après M. Regnault.

DÉSIGNATION DES CORPS.	CHALEURS spécifiques.
Fer	0.11379
Zinc	0.09555
Cuivre	0.09515
Cadmium	0.05669
Argent	0.05701
Arsenic	0.08140
Plomb	0.03140
Bismuth	0.03084
Antimoine	0.05077
Étain des Indes	0.05623
— anglais	0.05695
Nickel	0.10863
Cobalt	0.10696
Platine laminé	0.03243
— en mousse	0.03293
Palladium	0.05927
Or	0.03244
Soufre	0.20259
Iode	0.05412
Sélénium	0.0837
Tellure	0.05155
Urane	0.06190
Tungstène	0.03636
Molybdène	0.07218
Nickel carburé	0.11192
— plus carburé	0.11631
Cobalt carburé	0.11714
Acier Haussmann	0.11848
Fine-metal	0.12728
Fonte de fer blanche de Bourgogne	0.12983
Charbon	0.24111
Phosphore de 10° à 30°	0.1887
Phosphore de 0° à 100°, avec chaleur de fusion comprise	0.25034 / 0.25250
Iridium impur	0.1887
Manganèse très-carburé	0.14411
Mercure	0.03332
Verre	0.19768
ALLIAGES ET OXYDES.	
Laiton	0.09391
Plomb 1 at., étain 1 at.	0.04073
— 1 at., étain 2 at.	0.04506
— 1 at., antimoine 1 at.	0.03880
Bismuth 1 at., étain 1 at.	0.04000
— 1 at., étain 2 at.	0.04504
— 1 at., étain 2 at. et antimoine 1 at.	0.04621
Bismuth 1 at., étain 2 at., antimoine 1 at., zinc 2 at.	0.05657

DÉSIGNATION DES CORPS.	CHALEURS spécifiques.
Plomb 1 at., étain 2 at., bismuth 1 at.	0.04476
Plomb 1 at., étain 2 at., bismuth 2 at.	0.06082
Mercure 1 at., étain 1 at.	0.07294
— 1 at., étain 2 at.	0.06591
— 1 at., plomb 1 at.	0.03827
Protoxyde de plomb en poudre	0.05118
Protoxyde de plomb fondu	0.05089
Oxyde de mercure	0.05179
Protoxyde de manganèse	0.15701
Oxyde de cuivre	0.14201
— de nickel	0.16234
— calciné à la forge	0.15885
Magnésie	0.24394
Oxyde de zinc	0.12480
Peroxyde de fer (fer oligiste)	0.16695
Colcothar peu calciné	0.17569
Colcothar calciné une deuxième fois	0.17167
Colcothar fortement calciné	0.16921
Colcothar fortement calciné une deuxième fois	0.16707
Acide arsénieux	0.12786
Oxyde de chrome	0.17960
— de bismuth	0.06053
— d'antimoine	0.09009
Alumine (corindon)	0.19762
— (saphir)	0.21732
Acide stannique	0.09326
— titanique artificiel	0.17164
— titanique (rutile)	0.17032
— antimonieux	0.09535
— tungstique	0.07983
— molybdique	0.13240
— silicique	0.19132
— borique	0.23743
Oxyde de fer magnétique	0.16780
Protosulfure de fer	0.13570
Sulfure de nickel	0.12813
— de cobalt	0.12512
— de zinc	0.12303
— de plomb	0.05086
— de mercure	0.05117
Protosulfure d'étain	0.08365
Sulfure d'antimoine	0.08403
— de bismuth	0.06002
Bisulfure de fer (pyrite)	0.13009
— d'étain	0.11932
Sulfure de molybdène	0.12334
— de cuivre	0.12118
— d'argent	0.07460
Pyrite magnétique	0.16023

DÉSIGNATION DES CORPS.	CHALEURS spécifiques.
Chlorure de sodium.	0.21401
— de potassium. . . .	0.17295
Protochlorure de mercure.	0.05205
— — de cuivre. . .	0.13827
Chlorure d'argent.	0.09109
— de baryum.	0.08957
— de strontium. . . .	0.11990
— de calcium.	0.16420
— de magnésium. . .	0.19460
— de plomb.	0.06641
Protochlorure de mercure. .	0.06889
Chlorure de zinc	0.13618
Perchlorure d'étain..	0.10161
Chlorure de manganèse. . .	0.14255
Chloride d'étain.	0.14759
— de titane.	0.19145
Chlorure d'arsenic.	0.17604
— de phosphore. . .	0.20922
Bromure de potassium. . . .	0.11322
— d'argent.	0.07391
— de sodium.	0.13842
— de plomb.	0.05326
Iodure de potassium.	0.08191
— de sodium.	0.08684
Protoiodure de mercure. . .	0.03949
Iodure d'argent.	0.06159
Protoiodure de cuivre. . . .	0.06869
Iodure de plomb.	0.04267
— de mercure.	0.04197
Fluorure de calcium.	0.21492
Nitrate de potasse.	0.23875
— de soude.	0.27821
— d'argent.	0.14352
— de baryte.	0.15228
Chlorate de potasse.	0.20956
Phosphate de potasse.. . . .	0.19102
— de soude.	0.22833
— de plomb ($P^2O^5 + 2RO$). . .	0.08208
— de plomb ($P^2O^5 + 3RO$). . .	0.07982
Métaphosphate de chaux. . .	0.19923
Arséniate de potasse.	0.15631
— de plomb.	0.07280
Sulfate de potasse.	0.19010
— de soude.	0.23115
— de baryte.	0.11285
— de strontiane. . . .	0.14279
— de plomb.	0.08723
— de chaux.	0.19656
— de magnésie.	0.22159
Chromate de potasse.	0.18505
Bichromate de potasse. . . .	0.18937
Borate de potasse.	0.21975
— de soude.	0.23823
— de plomb (B^2O^6+RO).	0.11409
Borate de potasse.	0.20478
— de soude.	0.25709
— de plomb(B^2O^6+2RO).	0.09046
Wolfram.	0.09780
Zircon.	0.14558
Carbonate de potasse. . . .	0.21623
— de soude.	0.27275
— de chaux (spath d'Islande). . . .	0.20858
Aragonite.	0.20850
Marbre saccharoïde gris. . .	0.20989
— — blanc. .	0.21585
Craie blanche.	0.21485
Carbonate de baryte. . . .	0.11038
— de strontiane. . .	0.14483
— de fer.	0.19345
— de plomb.	0.08596
Dolomie.	0.21743
Noir animal.	0.26085
Charbon de bois.	0.24150
Coke du canel-coal.	0.20307
— de la houille.	0.20085
Charbon de l'anthracite du pays de Galles..	0.20172
Charbon de l'anthracite de Philadelphie.	0.20100
Graphite naturel.	0.20187
— des hauts fourneaux.	0.19702
— des cornues à gaz.	0.20360
Diamant.	0.14687
Térébenthine.	0.4672
Térébène.	0.4636
Térébilène.	0.4580
Camphilène.	0.4518
Essence de citron.	0.4879
— d'orange.	0.4886
— de genièvre.	0.4770
Pétroléne.	0.4684
Acier doux.	0.1165
— trempé.	0.1175
Métal des cymbales, aigre. .	0.0858
— — doux trempé.	0.0862
Larmes bataviques dures.. .	0.1923
— — recuites..	0.1937
Soufre cristallisé naturel. .	0.1776
— fondu depuis 2 ans. .	0.1764
— fondu depuis 2 mois .	0.1803
— fondu récemment. . .	0.1844
Essence de térébenthine. . .	0.4160
Dissolution de chlorure de calcium.	0.6448
Alcool ordinaire à 36° n° 1. .	0.6588
— plus étendu n° 2. . .	0.8413
— encore plus étendu n° 3	0.9402
Acide acétique concentré non cristallisé.	0.6501

DÉSIGNATION DES CORPS.	OPÉRATEURS.	CHALEURS spécifiques.
Chaux vive.	Lavoisier et Laplace.	0.2169
Huile d'olive.	Id.	0.3096
Acide sulfurique (densité 1.87).	Id.	0.3346
Acide azotique (densité 1.30).	Id.	0.6614
Vinaigre.	Dalton.	0.9200
Acide chlorhydrique (densité 1.53).	Id.	0.600
Alcool (densité 0.81).	Id.	0.700
— (densité 0.793).	Id.	0.622
Éther sulfurique (densité 0.76).	Id.	0.660
— — (densité 0.715).	Despretz.	0.520
Essence de térébenthine (densité 0.872).	Id.	0.472
Bois de pin.	Mayer.	0.650
Bois de chêne.	Id.	0.570
Bois de poirier.	Id.	0.500
Flint-glass.	Dalton.	0.190
Chlorure de sodium.	Id.	0.230
Mercure, de 0° à 100°.	Dulong et Petit.	0.0330
— de 0 à 300	Id.	0.0350
Platine, de 0 à 100	Id.	0.0335
— de 0 à 300	Id.	0.0355
Antimoine, de 0 à 100	Id.	0.0507
— de 0 à 300	Id.	0.0547
Argent, de 0 à 100	Id.	0.0557
— de 0 à 300	Id.	0.0611
Zinc, de 0 à 100	Id.	0.0927
— de 0 à 300	Id.	0.1015
Cuivre. de 0 à 100	Id.	0.0940
— de 0 à 300	Id.	0.1013
Fer, de 0 à 100	Id.	0.1098
— de 0 à 200	Id.	0.1150
— de 0 à 300	Id.	0.1218
— de 0 à 350	Id.	0.1255
Verre, de 0 à 100	Id.	0.1770
— de 0 à 300	Id.	0.1900
Platine, 100°.	Pouillet.	0.03350
— 300	Id.	0.03434
— 500	Id.	0.03518
— 700	Id.	0.03600
— 1000	Id.	0.03718
— 1200	Id.	0.03818

La chaleur spécifique d'un même corps est à peu près constante pour des températures inférieures à 100°; mais au-dessus, elle croît sensiblement avec la température, et surtout au point où le corps commence à se ramollir. La chaleur spécifique d'un même corps diminue à mesure que l'état d'agrégation de ce corps devient plus grand. Cependant Dulong, en comparant les chaleurs spécifiques des corps simples aux poids atomiques de ces mêmes corps, a posé la loi : *Les chaleurs spécifiques des corps simples sont en raison inverse de leurs poids atomiques*; d'où il résulte que les produits des chaleurs spécifiques par les poids atomiques sont un nombre constant; c'est en effet ce

que vérifient sensiblement les résultats donnés par l'expérience.

Neumann a posé une loi semblable à la précédente, pour les corps composés; elle est : *Pour chaque classe des corps composés ayant la même composition atomique et de constitution chimique semblable, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques.* Cette loi vient d'être vérifiée par les expériences de M. Regnault, desquelles il résulte aussi que la chaleur spécifique d'un alliage est sensiblement la somme des quantités de chaleur nécessaires pour élever séparé de 1° la température de chaque quantité de métal qui entre dans 1 kil. de l'alliage.

M. Regnault vient de faire des expériences pour déterminer la chaleur spécifique de l'eau à différentes températures. A l'aide de ses résultats, il a calculé une formule d'interpolation qui donne le nombre Q d'unités de chaleur absorbées par 1 kil. d'eau quand on porte sa température de 0° à T°, en appelant *unité de chaleur* la chaleur qu'absorbe 1 kil. d'eau à 0° pour s'échauffer de 1°.

Cette formule est

$$Q = T + AT^2 + BT^3. \qquad (a)$$

A = 0,000 02 et B = 0,000 000 3 constantes déterminées pour les valeurs d'expérience Q = 100,5 et Q = 203,3, qui correspondent à T = 100° et T = 200°.

La formule précédente revient donc à

$$Q = T + 0,000\,02T^2 + 0,000\,000\,3T^3.$$

La quantité de chaleur que 1 kil. d'eau absorbe quand sa température passe de T° à (T + 1°), en supposant que pour chaque élément dT de ce degré l'absorption de chaleur soit la même, est donnée par la formule

$$\frac{dQ}{dT} = 1 + 0,000\,04T + 0,000\,000\,9T^2.$$

La quantité $\frac{dQ}{dT}$ est la tangente à la courbe représentée par l'équation (*a*), c'est-à-dire à la courbe dont les abscisses sont aux ordonnées correspondantes dans le rapport de Q à T, au point correspondant à la valeur de T (page 352).

C'est à l'aide de ces deux formules qu'a été calculé le tableau suivant, dont les résultats sont donnés pour les températures de 10° en 10° à partir de 0°.

…PÉRATURE du …momètre à air T.	VALEUR de Q.	CHALEUR spécifique moyenne de l'eau entre 0° et T°.	CHALEUR SPÉCIFIQUE de l'eau de T° à (T+dT°). $\frac{dQ}{dT}$
0°	0.000	»	1.0000
10	10.002	1.0002	1.0005
20	20.010	1.0005	1.0012
30	30.026	1.0009	1.0020
40	40.051	1.0013	1.0030
50	50.087	1.0017	1.0042
60	60.137	1.0023	1.0056
70	70.210	1.0030	1.0072
80	80.282	1.0035	1.0089
90	90.381	1.0042	1.0109
100	100.500	1.0050	1.0130
110	110.641	1.0058	1.0153
120	120.806	1.0067	1.0177
130	130.997	1.0076	1.0204
140	141.215	1.0087	1.0232
150	151.462	1.0097	1.0262
160	161.741	1.0109	1.0294
170	172.052	1.0121	1.0328
180	182.398	1.0133	1.0364
190	192.779	1.0146	1.0401
200	203.200	1.0160	1.0440
210	213.660	1.0174	1.0481
220	224.162	1.0189	1.0524
230	234.708	1.0204	1.0568

…6. *Chaleur spécifique des gaz et des vapeurs.* D'après des expé…ces de Dulong, la chaleur spécifique d'un gaz ne serait pas la …ne suivant que ce gaz, en changeant de température, peut changer …olume de manière à rester à une pression constante, ou selon …l conserve le même volume malgré la variation de température, …change alors sa force élastique.

…est la chaleur spécifique sous pression constante qui se rap…e à la définition donnée pour la chaleur spécifique des solides et …liquides, et c'est la seule qui ait pu jusqu'à présent être déter…ée directement par l'expérience.

…après les expériences de M. Regnault, la chaleur spécifique de …a pression constante ne varierait pas avec la température, et il …ait en être de même avec la pression depuis une jusqu'à dix at…sphères. Plusieurs autres gaz soumis à l'expérience ont donné des …ultats analogues.

TABLEAU des chaleurs spécifiques de quelques fluides élastiques sous pression constante, d'après M. Regnault. Les premières valeurs correspondent à un kilog. des fluides, et celles de la dernière colonne, qui ont été obtenues en multipliant les premières valeurs par les densités des fluides par rapport à l'air, donnent les chaleurs spécifiques relatives des fluides pour des volumes égaux de fluides.

DÉSIGNATION DES FLUIDES.	CHALEURS SPÉCIFIQUES en poids.	CHALEURS SPÉCIFIQUES en volume.
Air entre —30° à +10°	0.2377	
Id. 10° et 100°	0.2379	0.2378
Id. 100° et 225°	0.2376	
Oxygène	0.2182	0.2412
Azote	0.2440	0.2370
Hydrogène	3 4046	0.2356
Chlore	0.1214	0.2962
Brôme	0.05518	0.2992
Protoxyde d'azote	0.2238	0.3413
Deutoxyde d'azote	0.2315	0.2406
Oxyde de carbone	0.2479	0.2399
Acide carbonique	0.2164	0.3308
Sulfure de carbone	0.1575	0.4146
Acide sulfureux	0.1553	0.3489
— chlorhydrique	0.1845	0.2302
— sulfhydrique	0.2423	0.2886
Gaz ammoniac	0.5080	0.2994
Hydrogène protocarboné	0.5929	0.3277
— bicarboné	0.3694	0.3572
Vapeur d'eau	0.4750	0.2950
— d'alcool	0.4513	0.7171
— d'éther	0.4810	1.2296
— — chlorhydrique	0.2737	0.6117
— — bromhydrique	0.1816	0.6777
— — sulfhydrique	0.4005	1.2568
— — cyanhydrique	0.4255	0.8293
— de chloroforme	0.1568	0.8310
Liqueur des Hollandais	0.2293	0.7911
Éther acétique	0.4008	1.2184
Vapeur d'acétone	0.4125	0.8341
— de benzine	0.3754	1.0114
Essence de térébenthine	0.5061	2.3776
Vapeur de chlorure phosphoreux	0.1346	0.6386
— — arsénieux	0.1122	0.7013
— — de silicium	0.1329	0.7788
— — d'étain	0.0939	0.8639
— — de titane	0.1263	0.8634

La chaleur spécifique 0,475 de la vapeur d'eau n'est guère que moitié de ce qu'avaient trouvé MM. Delaroche et Bérard ; elle est à peu près égale à celle de la glace (287), et moitié de celle de l'eau.

CHALEUR LATENTE.

287. *Chaleur latente de liquidité.* Lorsqu'un solide se liquéfie, il absorbe une grande quantité de chaleur sans que sa température augmente; cette quantité de chaleur prend le nom de *calorique de liquidité* ou de *chaleur latente de liquidité.*

TABLEAU des températures de fusion et des chaleurs spécifiques et chaleurs latentes de liquidité de quelques corps, en unités de chaleur (284), d'après les expériences de M. Person.

DÉSIGNATION DES CORPS.	TEMPÉRATURE de fusion.		CHALEUR spécifique à l'état liquide.	CHALEUR spécifique à l'état solide.	CHALEUR latente.
1° Non métalliques.					
Eau	0°		1.0000	0.5040	79.25
Phosphore	44.2		0.2045	0.1788	5.03
Soufre	115.0		0.2340	0.2026	9.37
Azotate de soude	310.5		0.4130	0.2782	62.98
Azotate de potasse	339.0		0.3319	0.2388	47.37
Chlorure de calcium	28.5		0.5550	0.3450	40.70
Phosphate de soude	36.4		0.7467	0.4077	66.80
	Thermomètre à mercure.	Thermomètre à air.			
2° Métalliques.					
Étain	235.0°	232.7°	0.0637	0.0562	14.25
Bismuth	270.5	266.8	0.0363	0.0308	12.64
Plomb	334.0	326.2	0.0402	0.0314	5.37
Zinc	433.3	415.3	»	0.0956	28.13
Cadmium	328.0	320.7	0.0642	0.0567	13.58
Argent	»	»	»	0.0570	21.07

Les corps, en passant de l'état liquide à l'état solide, dégagent une quantité de chaleur égale à celle qu'ils ont absorbée en se liquéfiant, et leur température reste constante tant qu'il y a eu du liquide à solidifier.

288. *Chaleur latente de vaporisation.* Lorsqu'on vaporise un liquide, il absorbe une très-grande quantité de chaleur, et sa température, qui est aussi celle de la vapeur, reste constante tant qu'il y a du liquide à vaporiser; cette quantité de chaleur absorbée prend le nom de *calorique de vaporisation* ou de *chaleur latente de vaporisation* (290).

TABLEAU de la chaleur latente de vaporisation de quelques liquides, et de la quantité totale de chaleur absorbée pour amener un kilogramme de ces liquides de 0° à la température d'ébullition et le vaporiser, d'après M. Despretz.

DÉSIGNATION DES LIQUIDES.	CHALEUR latente.	CHALEUR totale absorbée, en unités de chaleur
Eau	531	631
Alcool	207	255
Éther sulfurique	96.8	109.3
Essence de térébenthine	76.8	149 2

Les physiciens ne sont pas d'accord dans l'évaluation de la chaleur latente de vaporisation de l'eau : Rumfort la suppose égale à 557, Dulong, à 543; Clément Desormes, à 550; M. Southern, à 530, et Watt, à 527.

D'après M. Southern, la chaleur latente de vaporisation de l'eau est constante, de sorte que la quantité de chaleur totale contenue dans la vapeur croît avec la température; ainsi un kilogramme de vapeur à 135° contient 530 + 135 unités de chaleur. D'après Clément Desormes, au contraire, la quantité totale de chaleur absorbée pour échauffer et vaporiser un kilogramme d'eau à 0° est toujours de 650 unités, quelle que soit la température de la vapeur; ainsi, à 135°, la chaleur latente de la vapeur est 650 — 135 = 515 unités. Des expériences faites par M. Pambour tendent à confirmer la loi de Clément Desormes, que l'on admettait dans la pratique.

M. Regnault vient de faire des expériences pour déterminer la chaleur latente de la vapeur d'eau. Ses résultats sont représentés d'une manière satisfaisante par la formule :

$$L = A + BT.$$

L chaleur totale, en unités (284), renfermée dans un kilogramme de vapeur saturée à la température T°;

A = 606,5 et B = 0,305 quantités constantes, déterminées pour deux observations où la température T était 100 et 195°.

La formule précédente peut donc s'écrire :

$$L = 606.5 + 0,305T.$$

Cette formule fait voir que la chaleur totale renfermée dans un kilogramme de vapeur saturée à T° est égale à la quantité de chaleur qu'un kilogramme de vapeur saturée à 0° abandonne en passant à l'état d'eau liquide à 0°, augmentée du produit 0,305T.

La fraction 0,305 est donc une *capacité calorifique particulière* de la vapeur d'eau, différente des capacités calorifiques des gaz à volume constant, ou à pression constante, mais en relation intime avec ces dernières (286). C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à un kilogramme de vapeur saturée, pour élever sa température de 1°, quand l'on comprime en même temps cette vapeur de manière à la maintenir à l'état de saturation.

C'est à l'aide de cette formule que les chaleurs totales du tableau suivant ont été calculées. De ces chaleurs totales, retranchant les nombres Q d'unités de chaleur absorbées pour porter l'eau de 0° à T° (page 369), on a les chaleurs latentes de vaporisation l, consignées dans la dernière colonne de la table.

TEMPÉRATURE de la vapeur saturée T	CHALEUR totale L	CHALEUR latente l	TEMPÉRATURE de la vapeur saturée T	CHALEUR totale L	CHALEUR latente l
0°	606.5	606.5	120°	643.1	522.3
10	609.5	599.5	130	646.1	515.1
20	612.6	592.6	140	649.2	508.0
30	615.7	585.7	150	652.2	500.7
40	618.7	578.7	160	655.3	493.6
50	621.7	571.6	170	658.3	486.2
60	624.8	564.7	180	661.4	479.0
70	627.8	557.6	190	664.4	471.6
80	630.9	550.6	200	667.5	464.3
90	633.9	543.5	210	670.5	456.8
100	637.0	536.5	220	673.6	449.4
110	640.0	529.4	230	676.6	441.9

289. *TABLEAU des températures d'ébullition de quelques matières, sous la pression atmosphérique* (290).

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	TEMPÉRATURE en degrés centigr.	DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	TEMPÉRATURE en degrés centigr.
Eau	100.0	Dis. sat. de nitre	115.6
Ether sulfurique	37.8	*Id.* de tartre	116.7
Sulfure de carbone	47.0	*Id.* de nitrate d'ammon.	125.3
Carbure d'hydrogène	225.0	*Id.* de sous-carbonate de potasse	140.0
Esprit de bois	65.5	Essence de térébenthine	157.0
Alcool	78.4	Phosphore	290.0
Diss. sat. de sulfate de soude	100.7	Soufre	299.0
Id. d'acétate de plomb	102.0	Acide sulfurique	310.0
Id. de chlorure de sodium	106.9	Huile de lin	316.0
Id. de chlorhydrate d'ammoniaque	114.4	Mercure	360.0

290. *TABLEAU des températures d'ébullition* (289), *des chaleurs spécifiques* (28[illegible] *et des chaleurs latentes de vaporisation de quelques liquides* (288), *d'apr[illegible] MM. Favre et Silbermann, et des quantités totales de chaleur absorbées pour am[illegible]ner un kilog. de ces liquides de* 0° *à la température d'ébullition et le vaporiser s[illegible] la pression atmosphérique* $0^{m},76$.

SUBSTANCES.	TEMPÉRATURE d'ébullition.	CHALEUR spécifique.	CHALEUR latente.	CHALEUR totale.
Eau	100°	1	536	636
Carbure d'hydrogène.	225	0,495	60	171
Esprit de bois	66,5	0,67	264	309
Alcool absolu.	78	0,64	208	258
Alcool valérique	»	0,59	121	»
Alcool éthalique	»	0,51	58	»
Ether sulfurique.	38	0,50	91	110
Ether valérique.	113,5	0,52	69	128
Acide formique.	100	0,65	169	234
Acide acétique	120	0,51	102	163
Acide butyrique	164	0,41	115	182
Acide valérique.	175	0,48	104	188
Ether acétique.	74	0,48	106	142
Butyrate de méthylène	93	0,49	87	133
Essence de térébenthine	156	0,47	69	142
Térébène.	156	0,52	67	148
Essence de citron	165	0,50	70	153

VAPEURS.

291. *Propriétés de la vapeur.* La vapeur non saturée se comp[illegible] comme un gaz, quand on fait varier sa température et son volume da[illegible] les limites qui ne l'amènent pas à saturation (280 et 281).

La vapeur saturée, c'est-à-dire celle qui est au maximum de ten[illegible] et de densité correspondant à la température à laquelle elle se trou[illegible] n'étant pas en contact avec du liquide, si l'on augmente son volu[illegible] on diminue sa densité, sa tension et sa température; si au contra[illegible] on diminue son volume, on augmente sa densité, sa tension et[illegible] température, et il est probable qu'il y a de la vapeur condensée ; [illegible] suppose qu'il n'y a ni gain ni perte de chaleur par l'envelopp[illegible] renferme la vapeur. D'après Clément Desormes et M. Pambour, il [illegible] aurait pas condensation, et la vapeur resterait toujours saturée qu[illegible] qu'on augmentât ou qu'on diminuât son volume (288).

La vapeur en contact avec le liquide qui la forme est toujours sa[illegible]rée au maximum de densité et de pression correspondant à la te[illegible]pérature du liquide ; il y a vaporisation ou condensation suivant qu[illegible] augmente ou qu'on diminue son volume, et, par suite, absorption [illegible] production de chaleur ; ce qui diminue ou augmente la températ[illegible]

du liquide, quand toutefois il n'y a ni gain ni perte de chaleur par l'enveloppe.

292. *Relation entre la température et la force élastique de la vapeur d'eau.* Tredgold a donné une formule empirique qui lie la température à la force élastique de la vapeur d'eau, pour des pressions qui ne dépassent pas une atmosphère, et qui est encore, à part celles de M. Regnault, plus exacte que toute autre pour des pressions comprises entre 1 et 4 atmosphères ; cette formule est

$$t = 85\sqrt[6]{p} - 75, \quad \text{d'où} \quad p = \left(\frac{t+75}{85}\right)^6.$$

t température de la vapeur, en degrés centigrades ;
p force élastique de la vapeur, en centimètres de mercure.

Avant 1830, on ne connaissait la force élastique de la vapeur que pour des températures ne s'élevant pas au-dessus de 172°,13, ce qui correspond à 8 atmosphères de pression ; mais à cette époque, MM. Dulong et Arago poussèrent les expériences jusqu'à la température de 224°,2, qui correspond à une force élastique de 24 atmosphères. Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant, dont les nombres correspondant à des pressions de plus de 24 atmosphères ont été déterminés au moyen de la formule empirique suivante, que ces savants ont posée pour relier les résultats de leurs expériences. C'est à M. Gay-Lussac que sont dus les résultats correspondant à des températures inférieures à à 100°.

$$t = \frac{\sqrt[5]{p} - 1}{0,7153} \quad \text{d'où} \quad p = (1 + 0,7153t)^5.$$

p force élastique de la vapeur, en atmosphères ;
t température en unités de 100° centigrades ; la valeur de t, tirée de la formule, est positive ou négative, suivant que la température de la vapeur est supérieure ou inférieure à 100° : ainsi la température de la vapeur étant 100°, la formule donne $t = 0$; si la température est 140°, on a $t = 0.40$, et si elle est 60°, on a $t = -0.40$.

t exprimant la température en degrés centigrades à partir de 0°, et p la force élastique de la vapeur en kilogrammes par centimètre carré, la formule précédente devient

$$t = 138,883\sqrt[5]{p} - 39,802, \quad \text{d'où} \quad p = (0,28658 + 0,0072003t)^5.$$

TABLEAU donnant la tension de la vapeur d'eau à différentes températures, sa pression sur un centimètre carré en kilogrammes, sa densité, celle de l'eau étant 1, et le volume de 1 kilogramme de vapeur.

TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	TENSION en centimetres de mercure.	TENSION en atmosphères.	PRESSION en kilogrammes.	DENSITÉ, celle de l'eau liquide à 0° étant 1.	VOLUME en litres.
—20°	0.1333	»	0.001 8	0.000 001 54	650 568
—15	0.1879	»	0.002 6	0.000 002 12	470 696
—10	0 2631	»	0.003 6	0.000 002 92	342 954
— 5	0.3660	»	0.005 0	0.000 003 98	251 358
0	0.5059	»	0.006 9	0.000 005 40	182 323
5	0.6947	»	0.009 4	0.000 007 27	137 686
10	0.9475	»	0.012 9	0.000 009 74	102 670
12	1.0707	0.0144	0.014 6	0.000 010 92	91 564
15	1.2837	»	0.017 0	0.000 012 99	77 000
20	1.7314	»	0.023 5	0.000 017 18	58 224
25	2.3090	»	0.031 4	0.000 022 52	44 411
30	3.0643	»	0.041 8	0.000 029 38	34 041
35	4.0404	»	0.054 9	0.000 038 09	26 253
38	4.7579	0.0626	0.064 6	0.000 044 42	22 513
40	5.2998	»	0 072 0	0.000 049 16	20 347
45	6.8751	»	0.093 40	0.000 062 74	15 938
50	8.8742	»	0.120 56	0.000 079 70	12 546
51	9.3301	0.123	0.126 76	0.000 083 54	11 971
55	11.3710	»	0.154 49	0.000 100 54	9 946
60	14.4660	»	0.196 53	0.000 125 98	7 937
65	18.2710	»	0.248 23	0.000 156 68	6 381
66	19.1270	0.252	0.259 86	0.000 163 56	6 115
70	22.9070	»	0.311 21	0.000 193 55	5 167
75	28.507	»	0.396 32	0.000 237 89	4 204
80	35.208	»	0.478 34	0.000 288 89	3 462
82	38.238	0.503	0.519 50	0.000 311 95	3 206
85	43.171	»	0.586 52	0.000 349 16	2 864
90	52.528	»	0.713 64	0.000 418 91	2 387
92	56.695	0.746	0.770 26	0.000 449 56	2 224
95	63.427	»	0.861 72	0.000 498 86	2 005
100°	76.000	1.00	1.032 53	0.000 589 55	1 696
106.60	95.000	1.25	1.290 67	0.000 723 94	1 381
112.40	114.000	1.50	1.548 80	0.000 855 39	1 169
117.10	133.000	1.75	1 806 94	0.000 983 24	1 017
121.55	152.000	2.00	2.065 07	0.001 116 52	896
125.50	171.000	2.25	2.323 20	0.001 232 93	806
128.85	190.000	2.50	2.581 34	0 001 366 36	732
132.15	209.000	2.75	2.839 47	0.001 490 56	671
135.00	228.000	3 00	3.097 60	0.001 614 53	619
137.70	247.000	3.25	3.355 73	0.001 737 39	570
140.35	266.000	3.50	3.613 87	0.001 858 86	538
142.70	285.000	3.75	3.872 00	0.001 980 20	505
144.95	304.000	4.00	4.130 13	0.002 100 67	476
146.76	323.000	4.25	4.388 27	0.002 227 34	449
149.15	342.000	4.50	4.646 40	0.002 339 38	425
151.15	361.000	4.75	4.904 53	0.002 457 63	407
153.30	380 000	5.00	5.162 67	0.002 573 63	389
155.00	399.000	5.25	5.420 80	0.002 689 56	371
156.70	418.000	5.50	5.678 93	0.002 808 27	356
158.30	437.000	5.75	5.937 07	0.002 924 85	342

TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	TENSION en centimètres de mercure.	TENSION en atmosphères.	PRESSION en kilogrammes.	DENSITÉ, celle de l'eau liquide à 0° étant 1.	VOLUME en litres.
160.00	456.000	6.00	6.195 20	0.003 046 54	328
161.54	475.000	6.25	6.453 34	0.003 155 13	317
163.25	494.000	6.50	6.711 46	0.003 268 28	306
164.84	513.000	6.75	6.969 60	0.003 381 48	296
166.42	532.000	7.00	7.227 73	0.003 493 93	286
167.94	551.000	7.25	7.485 87	0.003 606 06	277
169.44	570.000	7.50	7.744 00	0.003 717 83	269
170.78	589.000	7.75	8.002 13	0.003 829 07	261
172.13	608.000	8.00	8.260 26	0.003 941 10	254
173.46	627.000	8.25	8.518 40	0.004 051 98	247
174.79	646.000	8.50	8.776 53	0.004 161 23	240
176.11	665.000	8.75	9.034 67	0.004 271 82	234
177.40	684.000	9.00	9.292 80	0.004 381 11	228
178.68	703.000	9.25	9.550 93	0.004 479 55	223
179.89	722.000	9.50	9.809 06	0.004 598 73	217
180.95	741.000	9.75	10.067 20	0.004 738 58	212
182.00	760.000	10.00	10.325 33	0.004 816 90	208
186.03	836.000	11.00	11.357 86	0.005 255 7	190
190.00	912.000	12.00	12 390 40	0.005 683 4	176
193.70	988.000	13.00	13.422 92	0.006 107	164
197.19	1064.000	14.00	14 455 46	0.006 527	153
200.48	1140.000	15.00	15.488 00	0.006 944	144
203.60	1216.000	16.00	16.520 52	0.007 359	136
206.57	1292.000	17.00	17.553 06	0.007 769	129
209.40	1368 000	18.00	18.585 60	0.008 178	122
212.10	1444.000	19.00	19.618 12	0.008 583	117
214.70	1520.000	20.00	20.650 66	0.008 986	111
217.20	1596.000	21.00	21.683 19	0.009 387	107
219.60	1672.000	22.00	22.715 72	0.009 785	102
221.90	1748.000	23.00	23.748 26	0.010 182	98
224.20	1824.000	24.00	24.780 80	0.010 575	95
226.30	1900.000	25.00	25.813 32	0.010 968	91
236.20	2280.000	30.00	30.976 00	0.012 903	78
244.85	2660.000	35.00	36.138 64	0.014 663	68
252.55	3040.000	40.00	41.301 33	0.016 644	60
259.52	3420.000	45.00	46.463 98	0.018 497	54
265.89	3800.000	50.00	51.628 64	0.020 306	49

D'après le tableau précédent, on voit que, sous la pression atmo-phérique 0m,76, un kilogramme ou un litre d'eau produit 1696 litres e vapeur, ou à peu près 1700 litres.

M. Regnault a encore fait des expériences pour déterminer la rce élastique de la vapeur d'eau aux températures de — 32° à + 230°. es résultats qu'il a obtenus sont représentés avec beaucoup d'exac-tude par les formules d'interpolation suivantes :

1° Pour les températures de — 32° à 0°,

$$F = a + b\alpha^{x}. \qquad (a)$$

force élastique, en millimètres de mercure ;

= −0,08038 quantité constante;

b constante, $\log b = \bar{1},6024724$;
α constante, $\log \alpha = 0,0333980$;
$x = t + 32$, t étant la température de la vapeur indiquée par le thermomètre à air en degrés centigrades, t est négatif;

2° Pour les températures de 0° à 100°,

$$\log F = a + b\alpha_1{}^t - c\beta_1{}^t. \qquad (b)$$

$$a = 4,7384380, \quad \log b = \bar{2},1340339, \quad \log c = 0,6116485,$$

$$\log \alpha_1 = 0,006865036, \quad \log \beta_1 = \bar{1},9967249;$$

3° Pour les températures de 100° à 230°,

$$\log F = a - b\alpha_1{}^x - c\beta_1{}^x. \qquad (c)$$

$$a = 6,2640348, \quad \log b = 0,1397743, \quad \log c = 0,6924351,$$

$$\log \alpha_1 = \bar{1},994049292, \quad \log \beta_1 = \bar{1},998343862;$$

$x = T + 20$, T étant la température en degrés centigrades, comptée à partir de la glace fondante.

C'est en faisant usage de ces formules que l'on a calculé, dans la limite relative à chacune d'elles, les résultats du tableau suivant, où F est exprimé en centimètres. On aurait pu calculer ce tableau dans toute son étendue avec la formule unique (c): on aurait obtenu des valeurs pour ainsi dire identiques à celles qui ont été calculées avec la formule (b) entre 40° et 100; mais dans les températures plus basses les forces élastiques données par la formule (c) seraient un peu trop faibles.

Les nombres de ce tableau prouvent que, surtout pratiquement, on peut considérer ceux du tableau précédent comme exacts.

TABLE des forces élastiques de la vapeur d'eau à différentes températures, d'après les expériences de M. Regnault.

TEMPÉRATURES.	FORCES ÉLASTIQUES en centimètres.	FORCES ÉLASTIQUES en atmosphères.	TEMPÉRATURES.	FORCES ÉLASTIQUES en centimètres.	FORCES ÉLASTIQUES en atmosphères.	TEMPÉRATURES.	FORCES ÉLASTIQUES en centimètres.	FORCES ÉLASTIQUES en atmosphères.
−32°	0.0320		+18°	1.5357		+68°	21.3596	
31	0.0352		19	1.6346		69	22.3165	
30	0.0386		20	1.7391	0.023	70	23.3093	0.306
29	0.0424		21	1.8495		71	24.3393	
28	0.0464		22	1.9659		72	25.4073	
27	0.0508		23	2.0888		73	26.5147	
26	0.0555		24	2.2184		74	27.6624	
25	0.0605		25	2.3550		75	28.8517	
24	0.0660		26	2.4988		76	30.0838	
23	0.0719		27	2.5505		77	31.3600	
22	0.0783		28	2.8101		78	32.6811	
21	0.0853		29	2.9782		79	34.0488	
20	0.0927		30	3.1548	0.042	80	35.4643	0.466
19	0.1008		31	3.3406		81	36.9287	
18	0.1095		32	3.5359		82	38.4435	
17	0.1189		33	3.7411		83	40.0101	
16	0.1290		34	3.9565		84	41.6298	
15	0.1400		35	4.1827		85	43.3041	
14	0.1518		36	4.4201		86	45.0344	
13	0.1646		37	4.6691		87	46.8221	
12	0.1783		38	4.9302		88	48.6687	
11	0.1933		39	5.2039		89	50.5759	
10	0.2093		40	5.4906	0.072	90	52.5450	0.691
9	0.2267		41	5.7910		91	54.5778	
8	0.2455		42	6.1055		92	56.6757	
7	0.2658		43	6.4346		93	58.8406	
6	0.2876		44	6.7790		94	61.0740	
5	0.3113		45	7.1391		95	63.3778	
4	0.3368		46	7.5158		96	65.7535	
3	0.3644		47	7.9093		97	68.2029	
2	0.3941		48	8.3204		98	70.7280	
1	0.4263		49	8.7499		99	73.3305	
0	0.4600	0.006	50	9.1982	0.121	100	76.0000	1.000
+1	0.4940		51	9.6661		101	78.7590	
2	0.5302		52	10.1543		102	81.6010	
3	0.5687		53	10.6636		103	84.5280	
4	0.6097		54	11.1945		104	87.5410	
5	0.6534		55	11.7478		105	90.6410	
6	0.6998		56	12.3244		106	93.8310	1.235
7	0.7492		57	12.9251		107	97.1140	
8	0.8017		58	13.5505		108	100.4910	
9	0.8574		59	14.2015		109	103.965	
10	0.9165	0.012	60	14.8791	0.196	110	107.537	1.415
11	0.9792		61	15.5839		111	111.209	
12	1.0457		62	16.3170		112	114.983	1.513
13	1.1162		63	17.0791		113	118.861	
14	1.1908		64	17.8714		114	122.847	
15	1.2699		65	18.6945		115	126.941	
16	1.3536		66	19.5496		116	131.147	
17	1.4421		67	20.4376		117	135.466	

TEMPÉRATURES.	FORCES ÉLASTIQUES en		TEMPÉRATURES.	FORCES ÉLASTIQUES en		TEMPÉRATURES.	FORCES ÉLASTIQUES en	
	centimètres.	atmosphères.		centimètres.	atmosphères.		centimètres.	atmosphères.
+118°	139.902		+156°	419.659	5.522	+194°	1029.701	
119	144.455		157	430.688		195	1051.963	
120	149.128	1.962	158	441.945		196	1074.595	
121	153.925		159	453.436	5.966	197	1097.500	
122	158.847		160	465.162	6.120	198	1120.982	
123	163.896		161	477.128		199	1144.746	
124	169.076		162	489.336	6.439	200	1168.896	15.3[illegible]
125	174.388		163	501.791		201	1193.437	
126	179.835		164	514.497		202	1218.369	
127	185.420		165	527.454	6.940	203	1243.700	
128	191.147	2.515	166	540.669		204	1269.430	
129	197.015		167	554.143		205	1295.566	
130	203.028	2.671	168	567.882	7.472	206	1322.112	
131	209.194		169	581.890		207	1349.075	
132	215.503		170	596.166	7.844	208	1376.453	
133	221.969		171	610.719	8.036	209	1404.252	
134	228.592	3.008	172	625.548		210	1432.480	18.8[illegible]
135	235.373		173	640.660		211	1461.132	
136	242.316		174	656.055		212	1490.222	
137	249.423		175	671.743		213	1519.748	
138	256.700		176	687.722	9.049	214	1549.717	
139	264.144	3.476	177	703.997		215	1580.133	
140	271.763	3.576	178	720.572		216	1610.994	
141	279.557		179	737.452		217	1642.315	
142	287.530		180	754.639	9.929	218	1674.090	
143	295.686		181	772.137		219	1706.329	
144	304.026	4.000	182	789.952		220	1739.036	22.[illegible]
145	312.555		183	808.084		221	1772.213	
146	321.274		184	826.540		222	1805.864	
147	330.187		185	845.323		223	1839.994	
148	339.298	4.464	186	864.435		224	1874.607	
149	348.609		187	883.882		225	1909.704	
150	358.123	4.742	188	903.668		226	1945.292	
151	367.843		189	923.795		227	1981.376	
152	377.774	4.971	190	944.270	12.425	228	2017.961	
153	387.918		191	965.093		229	2055.048	
154	398.277		192	986.271		230	2092.640	27.53[illegible]
155	408.856		193	1007.804				

293. *Relation entre la densité de la vapeur d'eau et celle de l'air.* On peut admettre, dans la pratique, que la densité de la vapeur d'eau saturée ou non, est toujours les 5/8 de celle de l'air à la même température et à la même pression. Ainsi, sans faire usage du tableau 292 ayant la densité de l'air à 0° et sous la pression 0^m, 76 (44), on déterminera sa densité à une température et à une pression quelconque (281) et en prenant les 5/8, on aura la densité de la vapeur d'eau à la même température et sous la même pression.

294. *Mélange des gaz et des vapeurs.* Lorsqu'un liquide est introduit dans un espace limité rempli d'un gaz qui n'exerce aucune ac-

himique sur ce liquide, il se vaporise autant de liquide que si ce était vide, seulement la vaporisation est moins prompte. La élastique de la vapeur formée est la même que si le gaz n'exis- is, et elle s'ajoute à celle de ce gaz; de sorte que la force élastique mélange de gaz et de vapeur est égale à la force élastique du gaz, ientee de celle de la vapeur correspondant à la température du nge (292). Il en est de même lorsqu'on introduit plusieurs gaz un même espace limité; la force élastique du mélange est égale omme des forces élastiques des différents gaz occupant séparé- le même espace.

lant le volume d'un gaz saturé de vapeur à la température $t°$, et ression du mélange, le tableau page 376 donne la tension p de la ir à $t°$, et $P-p$ est la force élastique du gaz. Ayant alors les nes, les températures et les tensions du gaz et de la vapeur, on déterminer le poids de chacun de ces deux corps entrant dans lange.

TABLEAU du poids de vapeur contenu dans un mètre cube d'air saturé à différentes températures, sous la pression atmosphérique 0m.76.

ATURE t. cent.	POIDS en grammes.	TEMPÉRATURE en deg. cent.	POIDS en grammes.	TEMPÉRATURE en deg. cent.	POIDS en grammes.
[illegible]	5.2	35°	37.00	70°	141.96
[illegible]	7.2	40	46.40	75	173 74
[illegible]	9.50	45	58.60	80	199.24
[illegible]	12.83	50	72.00	85	227.20
[illegible]	16 78	55	88.74	90	251.34
[illegible]	22.01	60	105.84	95	273.78
[illegible]	28.54	65	127.20	100	295.00

. *Influence des matières dissoutes dans un liquide à vaporiser.* In vase de verre, l'eau bout avec soubresauts, et l'ébullition n'a 'après M. Guy-Lussac, qu'à une température de 1°,3 plus élevée ans un vase métallique. L'acide sulfurique présente le même phé- ne, et les soubresauts sont d'autant plus violents que le liquide a le cohésion et qu'il exerce sur la matière du vase une action mo- ire plus grande. Quelques parcelles métalliques projetées dans le rrêtent les soubresauts, et la température devient celle que l'on drait dans un vase métallique.

point d'ébullition des liquides n'est pas changé par les corps gers qui n'y sont que mécaniquement mélangés, comme les par- s de sable, de sulfate de chaux, de carbonate de chaux, etc.; l est toujours modifié par les matières chimiquement combinées

au liquide; ainsi tous les sels solubles retardent le point d'ébullition de l'eau, et l'expérience prouve :

1° Que la vapeur produite à la surface des dissolutions salines est de la vapeur d'eau pure;

2° Que la tension de la vapeur dans un espace limité et à une température donnée est moindre que celle de la vapeur produite par de l'eau pure, et qu'elle varie avec la nature du sel dissout;

3° Que sous la pression $0^m,76$, la température de la vapeur formée est toujours de 100°, quelle que soit la nature du sel dissout et du vase contenant la dissolution.

TABLEAU des points d'ébullition de quelques dissolutions saturées, sous la pression $0^m.76$, d'après les expériences de M. Legrand.

DÉSIGNATION DES SELS DISSOUS.	TEMPÉRATURES d'ébullition, en degrés centigrades.	QUANTITÉS de sel qui saturent 100 d'eau.
Chlorate de potasse	104.2	61.5
Chlorure de barium	104.4	60.1
Carbonate de soude	104.6	48.5
Phosphate de soude	105.5	113.2
Chlorure de potassium	108.3	59.4
Chlorure de sodium	108.4	41.2
Hydrochlorate d'ammoniaque	114.2	88.9
Tartrate neutre de potasse	114.67	296.2
Nitrate de potasse	115.9	335.1
Chlorure de strontium	117.9	117.5
Nitrate de soude	121.0	224.8
Acétate de soude	124.37	209.0
Carbonate de potasse	135.0	205.0
Nitrate de chaux	151.0	362.2
Acétate de potasse	169.0	798.2
Chlorure de calcium	179.5	325.0
Nitrate d'ammoniaque	180.0	infini

297. *Tension des vapeurs autres que la vapeur d'eau.* D'après Dalton les vapeurs de tous les liquides ayant des tensions égales à des températures également éloignées de celle de leur point d'ébullition sous la pression $0^m,76$, il sera facile, au moyen des tableaux pages 376 et 3.. et de ceux des nos 289 et 290, qui donnent la température d'ébullition de quelques liquides, d'avoir la force élastique de la vapeur de ces liquides à une température quelconque. Ainsi la force élastique de la vapeur d'alcool à $78° + 20° = 98°$, sera la même que celle de la vapeur d'eau à $100° + 20° = 120°$; elle sera donc de 1.962 atmosphères (p. 3..

D'après des observations de plusieurs physiciens, il résulte que la loi si commode de Dalton n'est pas absolument rigoureuse, et qu'à de grandes distances des points d'ébullition elle s'écarte sensiblement de la vérité. C'est ce que confirme la table suivante, due aux expériences de M. Regnault.

Tempé-ratures.	Forces élastiques en centimètres de mercure.					
	Eau.	Essence de térébenthine.	Alcool.	Chloroforme.	Sulfure de carbone.	Ether.
-20	0.09	»	0.33	»	»	6.92
-10	0.21	»	0.65	»	7.90	11.32
0	0.46	0.21	1.27	»	12.73	18.23
10	0.92	0.23	2.41	13.04	19.93	23.65
20	1.74	0.43	4.40	19.02	29.82	43.48
30	3.15	0.70	7.84	27.61	43.46	63.70
40	5.49	1.12	13.41	36.40	61.75	91.36
50	9.20	1.72	22.03	52.43	85.27	126.80
60	14.88	2.69	35.00	73.80	116.26	173.03
70	23.31	4.19	53.92	97.62	154.90	230.95
80	35.46	6.42	81.28	136.78	203.05	294.72
90	52.55	9.10	119.04	181.15	262.34	389.90
100	76.00	13.49	168.50	235.46	332.13	492.04
110	107.54	18.73	235.18	302.04	413.63	624.90
120	149.13	25.70	320.78	381.80	512.16	»
130	203.03	34.70	433.12	472.10	626.06	»
140	271.76	46.23	563.77	»	»	»
150	358.42	60.45	725.78	»	»	»

SOURCES DE FROID.

298. *TABLEAU du froid produit par quelques mélanges frigorifiques.*

DÉSIGNATION DES MÉLANGES.	ABAISSEMENT de température.	FROID produit.
au, 16 parties; nitre, 5; hydrochlorate d'ammoniaque, 5.	de + 10° à — 12°	22°
au, 16; hydrochlorate d'ammoniaque, 5; nitre, 5; sulfate de soude, 8	de + 10 à — 16	26
au, 1; nitrate d'ammoniaque, 1.	de + 10 à — 16	26
au, 1; nitrate d'ammoniaque, 1; sous-carbonate de soude, 1.	de + 10 à — 19	29
ige, 1; sel marin, 1	de 0 à — 17.77	17.77
ige, 2; hydrochlorate de chaux, 3	de 0 à — 27.77	27,77
ige, 3; potasse, 4.	de 0 à — 28.33	28.33
eige, 1; acide sulfurique étendu, 4.	de — 6.66 à — 51	44.34
eige ou glace pilée, 2; sel marin, 1.	de — 17.77 à — 20.55	2.78
eige et acide nitrique étendu	de — 17.77 à — 43.33	25.56
eige, 1; hydrochlorate de chaux, 2.	de — 17.77 à — 54.44	36.67
ige ou glace pilée, 1; sel marin, 5; hydrochlorate d'ammoniaque et nitrate de potasse, 5	de — 20.55 à — 27.77	7.22
ige, 2; acide sulfurique étendu, 1; acide nitrique étendu, 1.	de — 23.33 à — 48.88	25.55
ige ou glace pilée, 12; sel marin, 5; nitrate d'ammoniaque, 5.	de — 27.77 à — 31.66	3.89
eige, 1; hydrochlorate de chaux, 3.	de — 40 à — 58.33	18.33

DÉSIGNATION DES MÉLANGES.	ABAISSEMENT de température.	FROID produit
Neige, 8 parties ; acide sulfurique étendu, 8. .	de — 55°55 à — 68°33	12°78
Sulfate de soude, 3 ; acide azotique étendu, 2.	de + 10 à — 19	29
Sulfate de soude, 6 ; sel ammoniaque, 4 ; nitre, 2 ; acide azotique étendu, 4.	de + 10 à — 23	33
Sulfate de soude, 6 ; nitrate d'ammoniaque, 5 ; acide azotique étendu, 4.	de + 10 à — 26	36
Phosphate de soude, 9 ; acide azotique étendu, 4.	de + 10 à — 29	39
Sulfate de soude, 20 ; acide sulfurique à 36°, 16.	de + 10 à — 8.15	18.15
Sulfate de soude, 22 ; résidu d'éther à 33°, 17.	de + 10 à — 8	18
Sulfate de soude, 8 ; acide chlorhydrique, 5. .	de + 10 à — 17	27

Ce tableau montre qu'après avoir obtenu un premier froid à l'ai d'un mélange frigorifique, on peut encore l'augmenter en faisant usa d'un second mélange.

299. ***TABLEAU** des abaissements de température obtenus par M. Gay-Lus en faisant arriver un courant d'air desséché au chlorure de calcium sur un th momètre dont la boule était recouverte d'une batiste humide.*

TEMPÉRATURES de l'air sec.	ABAISSEMENTS de température.	TEMPÉRATURES de l'air sec.	ABAISSEMENTS de température.	TEMPÉRATURES de l'air sec.	ABAISSEMENTS de tempéra
0°	5°82	9°	8°61	18°	11°96
1	6.09	10	8.97	19	12.34
2	6.37	11	9.37	20	12.73
3	6.66	12	9.70	21	13.12
4	6.96	13	10.07	22	13.51
5	7.27	14	10.44	23	13.90
6	7.59	15	10.82	24	14.30
7	7.92	16	11.20	25	14.70
8	8.26	17	11.58		

300. Dans ces derniers temps, M. Faraday, dans des expériences latives à la liquéfaction et à la solidification des gaz, en plaçant sous cloche d'une bonne machine pneumatique une pâte d'acide carboniq solidifié et d'éther (301), et en faisant fonctionner la machine, a tenu, pour les pressions sous la cloche, en centimètres de mercure :

72.1   49,3   23.9   18.8   13.7   8.6   6.1   3.5   3.0

les températures :

—77°   —80°   —85°   —87°   —91°   —95°   —99°   —107°   —110°

LIQUÉFACTION ET SOLIDIFICATION DES GAZ.*

01. *Liquéfaction et solidification des gaz.* On est déjà parvenu à [...]éfier et même solidifier un grand nombre de gaz, et il est probable [...] tous pourraient l'être s'il était possible de produire des tempéra[...]s assez basses et de fabriquer des vases assez résistants.

—80°, et sous une pression inférieure à 1 atmosphère (300), M. Fa[...]y a obtenu à l'état liquide ou à l'état solide les gaz suivants :

[...]lore, cyanogène, ammoniaque, acide sulfhydrique, hydrogène arséniqué, acide iodhydrique, acide bromhydrique, acide carbonique.

[...]pératures *de fusion observées par M. Faraday pour les gaz qui ont pu être solidifiés :*

[...]ogène.	— 35°	Oxyde de chlore. .	— 60°	Acide sulfhydrique.	— 86°
[...] iodhydrique.	— 51	Ammoniaque. . . .	— 75	Acide bromhydrique.	— 88
[...] carbonique. .	— 58	Acide sulfureux. .	— 76	Protoxyde d'azote. .	— 100

[...]s six gaz suivants n'ont pu être solidifiés, même à —110° :

[...] oléfiant, acide fluosilicique, hydrogène protophosphoré, acide fluoborique, acide chlorhydrique, hydrogène arséniqué.

[...]s cinq gaz suivants n'ont donné à M. Faraday aucun signe de liqué[...]on, même en les maintenant à la température de —110°, et à la [...]sion de 27 atmosphères pour les deux premiers, de 40 pour le troi[...]e et de 50 pour les deux derniers :

Hydrogène, oxygène, oxyde de carbone, azote, bioxyde d'azote.

[...] Faraday obtenait le froid à l'aide de la machine pneumatique, [...]e nous l'avons indiqué au n° 300, et la pression du gaz, au moyen [...] système de deux pompes de diamètres différents.

[...]Maximums *de tension des trois gaz qui se liquéfient le plus facilement.*

[...]TEMPÉRATURE.	GAZ SULFUREUX.	CYANOGÈNE.	AMMONIAQUE.
	atm.	atm.	atm.
— 18°	0.7	1.2	2.5
0	1.5	2.4	4.4
+ 4.4	1.8	2.8	5.0
32	4.3	6.2	11.0
38	5.1	7.3	»

TABLEAU des températures en degrés centigradés et des pressions en atmosphères correspondant à la liquéfaction de quelques gaz.

TEMPÉRATURE.	GAZ oléfiant.	ACIDE carbonique.	PROTOXYDE d'azote.	GAZ chlorhydrique.	GAZ sulfhydrique.	HYDROGÈNE arsénié.
°	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.
—87.2	»	»	1.0	»	»	»
78.9	»	1.2	1.4	»	»	»
73.3	9.3	1.8	1.8	1.8	1.0	»
59.4	»	4.6	3.6	»	»	0.9
51.1	13.9	7.1	5.4	5.1	1.9	1.4
40.0	17.0	11.1	8.7	7.7	2.9	2.3
28.9	21.2	16.3	13.3	10.9	4.2	3.5
17.8	27.2	22.8	19.3	15.0	6.1	5.2
6.7	36.8	30.7	26.8	21.1	8.4	7.1
1.1	42.5	37.2	31.1	25.3	9.9	8.7
+2.4	»	»	»	30.7	11.8	10.0

D'après des expériences de M. Pouillet :

L'acide carbonique	se liquéfie à	10°	sous la pression de	45	atmosphères,
Le protoxyde d'azote	*id.*	11	*id.*	43	
L'ammoniaque	*id.*	10	*id.*	5	
Le gaz sulfureux	*id.*	8	*id.*	2.5	

C'est M. Thilorier qui a le premier obtenu, en grande masse, l'aci carbonique à l'état liquide et à l'état solide. L'acide carbonique liqu étant renfermé dans un réservoir assez résistant, en lui donnant u issue au moyen d'un robinet de forme convenable, il se vaporise vi ment sous la pression atmosphérique, et la chaleur latente qu'il sorbe abaisse la température au point de congeler la portion d'a restée dans le réservoir. Sa température est en effet de 50 ou 60° dessous de zéro. Abandonné à l'air, l'acide carbonique solide se va rise sans se liquéfier. En versant sur un demi-litre ou un litre d'a carbonique solide une quantité convenable d'éther sulfurique, on tient une pâte semi-fluide qui se conserve plus longtemps que l'a carbonique seul, et qui donne un contact plus parfait, soit avec thermomètres, soit avec les corps à refroidir. C'est cette pâte M. Faraday a employée pour faire ses expériences (300).

PUISSANCES CALORIFIQUES DES COMBUSTIBLES.

302. *Puissances calorifiques et pouvoirs rayonnants des combl bles.* On appelle *puissance calorifique d'un combustible*, la quanti chaleur que dégage, en se brûlant complétement, 1 kilogramme combustible. La puissance calorifique d'un même combustible es stante, quelles que soient d'ailleurs les circonstances dans lesqu s'opère la combustion.

TABLEAU des puissances calorifiques de quelques matières combustibles, en unités de chaleur (284) : 1° d'après Dulong ; 2° d'après les expériences récentes de MM. Favre et Silbermann ; 3° d'après leur composition, en prenant 34462 pour la puissance calorifique de l'hydrogène et 8080 pour celle du carbone.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	Dulong.	Favre et Silbermann.	Composition.
Hydrogène	34 742	34 462	»
Carbone	7 170	8 080 *	»
Graphite naturel	»	7 796	»
Diamant	»	7 770	»
Carbone passant à l'état d'oxyde, 8080 — 5607 = 2473	1 386	2 473	»
Poids (2^k,333) d'oxyde renfermant 1 kil. de carbone, 2403×2.333=5607	5 784	5 607	»
Oxyde de carbone (composition en poids : carbone 0,428, oxygène 0,572)	2 488	2 403	»
Hydrogène protocarboné (carbone 0,75, hydrogène 0,25)	13 205	13 063	14 676
Hydrogène bicarboné (carbone 0,8571, hydrogène 0,1429)	12 032	11 858	11 850
Ether sulfurique (carbone 0,6531, hydrogène 0,1333, oxygène 0,2136 ; soit carbone 0,6531, hydrogène 0,1066, eau 0,2403)	9 430	9 027	8 950
Alcool (carbone 0,5265, hydrogène 0,1290, oxygène 0,3445 ; soit carbone 0,5265, hydrogène 0,0865, eau 0,3870)	6 855	7 184	7 235
Esprit de bois	»	5 301	»
Essence de térébenthine (carbone 0,8824, hydrogène 0,1176)	10 836	10 852	10 946
Soufre	2 601	2 240	»
Sulfure de carbone	»	3 400	»
Cire (carbone 0,816, hydrogène 0,139, oxygène 0,045 ; soit carbone 0,816, hydrogène 0,1333, eau 0,0507)	»	10 496	11 186
Huile d'olive (carbone 0,7721, hydrogène 0,1336, oxygène 0,0943)	9 862	»	10 435
Suif (carbone 0,79, hydrogène 0,117, oxygène 0,093)	»	»	10 035

D'après Rumfort.	Suif	8 639
	Huile de colza épurée	9 307
	Naphte, densité = 0,827	7 338

* Ce résultat a été fourni par du charbon de bois fortement calciné, en tenant compte de l'oxyde de carbone formé ; en négligeant cet oxyde, la puissance calorifique serait que de 7833.

Pendant longtemps on a admis que la puissance calorifique d'un combustible était proportionnelle à la quantité d'oxygène nécessaire à combustion ; c'est ce que semblaient confirmer les puissances calorifiques du carbone et de l'hydrogène obtenues par M. Despretz ; mais cette loi a été démentie par les expériences de Dulong, qui ont donné pour le carbone et l'hydrogène des puissances calorifiques qui sont loin d'être dans le rapport des quantités d'oxygène absorbées.

TABLEAU des puissances calorifiques des combustibles généralement employés dans l'industrie, et des quantités de chaleur que rayonnent ces combustibles en brûlant, en supposant leurs puissances calorifiques égales à l'unité (312, 313 et 314).

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	PUISSANCES calorifiques.	POUVOIRS rayonnants.
Bois desséché à 140°.	4000	0.28
Bois ordinaire à 0.25 d'eau.	3000	0.25
Charbon de bois à 0.07 de cendres et 0,07 d'eau. . .	7000	0.50
Tannée sèche.	3400	»
Tannée à 0.30 d'eau.	2400	»
Tourbe desséchée à 60°.	5300	0.25
Tourbe à 0.30 d'eau.	3750	0.25
Charbon de tourbe à 0.20 de cendres.	6400	0.50
Houille moyenne.	8000	0.55
Coke à 0.04 de cendres.	7700	*id.*
Coke à 0.15 de cendres.	6800	*id.*
Anthracite.	8000	»
Lignite.	6500	»
Huile.	10000	0.18

De ce tableau il résulte que la quantité de chaleur rayonnée par la flamme est très-faible relativement à celle rayonnée par le charbon.

TABLEAU des quantités de chaleur moyennes produites par une mesure de volume de quelques combustibles. Ces quantités de chaleur ont été obtenues en multipliant les puissances calorifiques des combustibles par le poids en kilogrammes de leur mesure de volume.

DÉSIGNATION DES MESURES.	DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	CHALEUR produite en unités.
1 hectolitre.	Houille de moyenne qualité. . . .	630 000
1 corde de 4 mètres cubes. . .	Noyer d'une année de coupe. . . .	7 742 000
Id. . . .	Chêne blanc d'une année de coupe.	6 846 000
Id. . . .	Frêne. *id.*	5 974 000
Id. . . .	Hêtre. *id.*	5 603 000
Id. . . .	Orme *id.*	4 487 000
Id. . . .	Bouleau *id.*	4 102 000
Id. . . .	Châtaignier *id.*	4 035 000
Id. . . .	Charme *id.*	5 572 000
Id. . . .	Pin d'une année de coupe. . . .	4 263 000
Id. . . .	Peuplier d'Italie *id.*	3 069 000
1 hectolitre	Charbon de noyer.	292 000
Id.	*Id.* de chêne.	255 000
Id.	*Id.* de frêne.	249 000
Id.	*Id.* de hêtre.	176 000
Id.	*Id.* d'orme.	167 000
Id.	*Id.* de bouleau	153 000
Id.	*Id.* de châtaignier.	146 000
Id.	*Id.* de charme.	176 000
Id.	*Id.* de pin.	160 000
Id.	*Id.* de peuplier d'Italie. . .	109 000
1 hectolitre comble.	Coke.	230 000
1 corde pesant 2000 kilog . .	Tourbe de Beauvais, 2ᵉ qualité. . .	7 200 000

COMBUSTIBLES.

05. *Combustibles.* Les combustibles le plus généralement em- yés dans l'industrie sont le bois, le charbon de bois, la tannée, la rbe, le charbon de tourbe, la houille et le coke.

e carbone et l'hydrogène sont les deux principaux éléments utiles composent les combustibles.

est entre les températures de 400 et 500° que les combustibles mencent à brûler en donnant de la lumière (277).

M. *Bois.* Le bois est formé : 1° d'une matière que M. Payen appelle ulose, qui constitue la charpente solide de toutes les plantes, et qui ompose de 0,444 de carbone, et de 0,556 d'oxygène et d'hydrogène is les proportions convenables pour faire de l'eau ; 2° d'une matière rustante de composition variable avec la nature des bois, très-riche arbone, et contenant un petit excès d'hydrogène sur la quantité ssaire à la composition de l'eau. Le bois contient en outre moyen- ent 0,015 de matières étrangères qui donnent naissance aux cen- lors de la combustion : les bois de chauffage ordinaires contien- t à peu près 0,02 de ces matières étrangères.

bois vert contient de 0,37 à 0,48 d'eau, qu'il peut perdre sans que ature soit altérée ; celui de 4 à 5 mois de coupe, employée au char- nage, en contient de 0,30 à 0,35, et celui de chauffage de 8 à ois de coupe, de 0.20 à 0.25.

faut éviter de faire la coupe des bois lorsqu'ils sont en pleine séve ; i, la saison d'hiver doit être choisie pour l'effectuer. On peut con- rer quinze à vingt ans comme l'âge du bois à charbon, vingt-cinq à te ans comme celui du bois à brûler, et cent ans et au-dessus me celui du bois d'œuvre,

France produit annuellement, d'après M. Héron de Villefosse, 928 cordes, de chacune 2,75 stères de bois de chauffage ; ce qui vaut à 84 163 426 francs.

s analyses faites par M. Dumas sur différents bois réduits en re et desséchés à 140° ont donné en moyenne les compositions antes, sans variations sensibles :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.	Cendres.
ι.......	0,4970	0,0616	0,4130	0,0105	0,018
ois......	0,5046	0,0614	0,3965	0,0114	0,025

il résulte que l'on peut admettre pour la composition des bois des- és à 140° : carbone 0,50, hydrogène 0,06, oxygène 0,41, azote 0,01, res 0,02 ; soit : carbone 0,50, hydrogène libre 0,01, hydrogène et

TABLEAU des puissance[illegible] l'industrie, et des qu[illegible] en supposant leur[illegible]

... pour faire de l'eau 0,46, azote 0,0[illegible]

... bois desséché à 140° est alors

... $+ 0,01 \times 34462 = 4385.$ (31[illegible])

... 2550 pour la puissance calorifique des bois ... 3450 à 3960 pour différents bois préalablement desséchés sur un poêle.

La puissance calorifique paraît être la même pour tous les bois desséchés au même degré.

D'après M. Péclet, la quantité de chaleur rayonnée par le bois de hêtre en petits morceaux est à la quantité de chaleur entraînée par la fumée dans le rapport de 1 à 2,5, et, par suite, à la quantité totale de chaleur développée, dans celui de 1 à 3,5; ces rapports sont beaucoup plus grands pour les bois en gros morceaux donnant des charbons très-lumineux, très-rayonnants (page 388).

M. Péclet a reconnu aussi que le pouvoir rayonnant était variable pour les différents bois en morceaux ordinaires, mais qu'il était à peu près le même pour tous les bois en petits morceaux.

TABLEAU de la composition du bois pris sur les diverses parties d'un [illegible] desséché à 80°, d'après les analyses récentes de M. Violette, directeur de la poudrerie d'Esquerdes. Les feuilles desséchées à 100° ont perdu 60 pour 100 d'eau, les branches 45.

COMBUSTIBLES.		CARBONE.	HYDROGÈNE.	OXYGÈNE ET AZOTE.	CENDRES.
Feuilles.		45.045	6.971	40.940	[illegible]
Petites branches.	Écorce.	52.496	7.342	36.737	[illegible]
	Bois	48.359	6.665	44.730	[illegible]
Moyenne branche.	Écorce.	48.855	6.342	44.121	[illegible]
	Bois	49.902	6.607	43.356	[illegible]
Grosse branche.	Écorce.	46.871	5.570	44.656	[illegible]
	Bois	48.003	6.472	45.170	[illegible]
Tronc.	Écorce.	46.267	5.930	44.755	[illegible]
	Bois	48,925	6.460	44.319	[illegible]
Grosse racine.	Écorce.	49.085	6.024	48.761	[illegible]
	Bois	49.224	6.286	44.108	[illegible]
Moyenne racine.	Écorce.	50.367	6.069	41.920	[illegible]
	Bois	47.390	6.259	46.126	[illegible]
Racine chevelue avec écorce		45.063	5.036	43.503	[illegible]

TABLEAU des poids du mètre cube de différents bois, d'après M. Berthier.

DÉSIGNATION DES BOIS.	ÉTAT DES BOIS.	POIDS en kilogram.
...êne de futaie des environs de Moulins.	Coupé depuis un an, en bûches refendues.	275
Id. *id.* . . .	*Id.*, scié en quatre. . . .	515
...êne de la forêt de Monadier, près Moulins.	Gros bois coupé depuis trois ans, refendu.	386
Id. *id.* . . .	*Id.*, scié en quatre. . . .	485
...êne des environs de Cahors. .	Coupé depuis un an.	525
...êne de charbonnage.	Même, long de 30 pouces.	220 à 262
...re des environs de Moulins. .	En gros rondins refendus.	400
Id. *id.* . . .	Vermoulu en partie.	375
...aleau des environs de Moulins.	En gros rondins.	440
...emble.	De charbonnage.	190 à 220
...apin de Moulins.	En gros bois.	300 à 340
...rme.	. . . .	320
...harme.	. . . .	398

...Paris, le bois de chauffage ordinaire pèse de 700 à 750 kilog. la ..., et celui de charbonnage de 600 à 700 kilog. La voie est de 2 stères ... mètres cubes. Les bûches ayant 1^{m},14 de longueur, la mesure em...yée dans les chantiers pour livrer le stère a 1 mètre de longueur sur ...8 de hauteur. A Paris, le bois coûte environ 50 fr. les 1000 kil.

...ans les arts, les effets des bois ne sont pas toujours proportionnels ...ur puissance calorifique ; ainsi, par exemple, s'il s'agit d'évaporer ...eau dans une chaudière, ceux qui brûlent avec flamme sont les ...s avantageux. Sous ce rapport, les différents bois sont rangés dans ...dre suivant :

...mere.	100	Mélèze et orme. . . .	72	Tilleul.	55
...ylvestre.	89	Chêne blanc.	70	Tremble.	54
...e et frêne. . . .	87	Bouleau.	68	Aulne.	46
...me.	85	Sapin.	63	Saule.	40
...er.	82	Acacia.	59	Peuplier d'Italie. . . .	39
...e-rouvre.	75				

TABLEAU des poids, des compositions en carbone et en hydrogène, et des puissances calorifiques du stère de différents bois secs, d'après les expériences de M. Chevandier.

NATURE DES BOIS.	Poids d'un stère de bois sec.	Charbon contenu dans un stère.	Hydrogène libre contenu dans un stère.	Puissance calorifique d'un stère.	Puissance calorifique relative.
	kilog.	kilog.	kilog.		
Chêne à glands sessiles (bois de quartiers).	380	188.49	2.61	1 614 349	1.0000
Hêtre (bois de quartiers)	380	187.20	2.64	1 604 824	0.9941
Chêne, les deux variétés confondues (bois de quartiers)	371	184.02	2.55	1 576 101	0.9763
Charme (bois de quartiers)	370	179.73	2.28	1 532 082	0.9490
Chêne à glands pédonculés (bois de quartiers).	359	178.07	2.47	1 525 225	0.9446
Bouleau (bois de quartiers).	338	171.92	3.65	1 516 271	0.9392
Charme (quartiers et rondins mêlés). . .	364	175.35	2.23	1 494 938	0.9260
Bouleau (quartiers et rondins mêlés). . .	332	168.87	3.58	1 489 190	0.9224
Id. (rondinage de brins).	318	161.75	3.43	1 426 434	0.8836
Sapin, *id.*	312	158.89	2.94	1 386 376	0.8587
Chêne, les deux variétés confondues (rondinage de brins).	317	157.24	2.18	1 346 772	0.8342
Hêtre (rondinage de brins).	314	154.68	2.18	1 326 072	0.8211
Aulne (bois de quartiers)	293	149.52	2.98	1 314 993	0.8145
Aulne (quartiers et rondins mêlés). . . .	291	148.50	2.96	1 303 054	0.8071
Charme (rondinage de brins).	313	152.04	1.94	1 296 432	0.8030
Hêtre (rondinage de branches).	304	149.76	2.11	1 283 870	0.7953
Sapin, *id.*	287	146.15	2.70	1 275 068	0.7898
Aulne (rondinage de brins).	283	144.41	2.88	1 267 247	0.7849
Pin, *id.*	283	144.66	2.63	1 260 600	0.7808
Pin (rondinage de branches).	281	143.63	2.61	1 254 581	0.7732
Charme, *id.*	298	144.75	1.84	1 234 029	0.7644
Sapin (bois de quartiers)	277	141.06	2.61	1 230 800	0.7624
Saule (quartiers et rondins mêlés). . . .	285	142.28	2.14	1 224 424	0.7584
Bouleau (rondinage de branches). . . .	269	136.82	2.90	1 206 536	0.7473
Saule (rondinage de brins).	276	137.79	2.07	1 185 698	0.7344
Tremble (quartiers et rondins mêlés). , .	273	134.56	2.57	1 176 858	0.7290
Chêne, les deux variétés confondues (rondinage de branches).	277	137.40	1.90	1 176 671	0.7288
Pin (bois de quartiers).	256	130.86	2.38	1 140 375	0.7064

TABLEAU des quantités d'eau hygrométrique contenues dans 100 de bois de différentes essences et de diverses qualités, 6 mois, 1 an, 18 mois et 2 ans après la coupe, d'après M. Chevandier.

BOIS.	BOIS DE QUARTIERS.				RONDINAGE DE BRANCHES.				RONDINAGE DE BRINS.			
	6 mois.	1 an.	18 mois.	2 ans.	6 mois.	1 an.	18 mois.	2 ans.	6 mois.	1 an.	18 mois.	2 ans.
Hêtre. . .	23.34	19.34	17.40	17.74	33.48	24.00	19.80	20.32	30 44	23.46	18.60	19.95
Chêne. . .	29.63	23.75	20.74	19.16	31.20	26.90	24.55	21.09	32.71	26.74	23.35	20.28
Charme. .	24.68	20.18	18.77	17.94	31.38	25.89	22.33	19.30	27.19	23 08	20 60	18.59
Bouleau. .	23.28	18.10	15.98	17.17	37.34	28.99	24.12	21.78	39.72	29.01	22.73	19.52
Tremble. .	31 00	21.55	15.87	16.77	35.69	26.01	21.85	19.44	40.45	26.22	17.77	17.92
Aulne. . .	22.37	19.17	15.27	16.72	»	»	»	»	42.43	24.09	19.06	18.05
Saule. . .	»	»	»	»	»	»	»	»	36.44	23.13	17.12	17.58
Sapin. . .	28.56	16.65	14.78	17.22	28.29	17.14	15.09	18.66	33.78	16 87	15.21	18.09
Pin. . . .	29.31	28.54	15.81	17.96	35.30	17.59	15.72	17.39	41.49	18.67	15 63	17.42

Ce tableau fait voir qu'au bout d'un certain temps le bois reprend une portion de l'eau qu'il avait d'abord perdue.

305. *Charbon de bois.* Le charbon de bois donne moyennement 0,075 de cendres, et celui du commerce contient généralement de 10 à 12 pour 100 d'eau. M. Sauvage, ingénieur en chef des mines, donne, pour la composition du charbon de bois fabriqué dans les forêts, 0,79 de carbone, 0,14 de matières volatiles et 0,07 de cendres.

D'après M. Sauvage, on peut admettre que la puissance calorifique du charbon de bois fabriqué dans les forêts est les 0,85 de celle du carbone pur, soit $8080 \times 0{,}85 = 6868$. M. Péclet admet 7000 pour la puissance calorifique des charbons de bois ordinaires, contenant 6 à 7 pour 100 d'eau et 6 à 7 de cendres (314).

Les valeurs relatives des divers charbons, sous le même volume, sont proportionnelles aux poids spécifiques de ces charbons, et sont, pour les charbons du commerce, 166 pour le charbon de noyer, 114 pour celui d'érable, 106 pour celui de chêne, et 75 pour celui du pin.

D'après M. Berthier, dans les départements du centre, le poids d'un mètre cube de charbon de chêne et de hêtre du commerce varie de 240 à 250^k; celui de bouleau, de 220 à 230^k, et celui de pin, de 200 à 210^k. Dans les Vosges, celui de chêne et de hêtre, rondinage, est de 228^k, et celui de sapin, 135^k. Dans les usines métallurgiques, dit M. d'Aubuisson, on admet généralement qu'un mètre cube de charbon en fragments de grosseur ordinaire pèse, pour le chêne et le hêtre, de 200 à 240^k : pour le pin et le mélèze, de 160 à 180^k, et pour le sapin et le châtaignier domestique, de 130 à 150^k.

D'après M. Péclet, le pouvoir rayonnant du charbon de bois est à peu près moitié de sa chaleur spécifique, c'est-à-dire que la quantité de chaleur qu'il rayonne est à peu près égale à la chaleur qu'entraîne la fumée, ou moitié de la chaleur totale développée (page 388).

Par le mode de carbonisation en meules, employé dans les forêts, le bois ne donne que 17 à 18 pour 100 de son poids en charbon; pour les grandes meules, cette proportion est un peu dépassée. En volume, les petites meules rendent de 26 à 30 pour 100, et les grandes, de 30 à 35. Le bois distillé en vase clos rend de 28 à 30 p. 100 de son poids en charbon.

Dans les départements des Ardennes et de la Meuse, les meules contiennent de 60 à 90 stères de bois (1/4 de hètre et chêne, 1/4 de tremble et saule, et 1/2 de charme) en bûchettes de 0^m,84 à 0^m,90 de longueur, et le rendement en poids est de 0,21 en moyenne. La carbonisation dure de 7 à 12 jours.

C'est vers l'âge de vingt ans qu'il convient d'aménager les bois destinés au charbonnage; on profite de la grande croissance du jeune â... tout en obtenant le bois le plus convenable à la carbonisation (page 3...).

A Paris, le charbon de bois coûte environ 20 fr. les 100 kil.

D'après M. Berthier tous les bois non résineux, carbonisés dans les mêmes circonstances, rendraient, à poids égaux, la même quantité de charbon. M. Violette a obtenu, pour 100 parties de bois desséchés préalablement à 150°, les rendements en charbon du tableau suivant, la carbonisation se faisant à 300°, dans des vases ouverts, à l'aide de la vapeur surchauffée :

Liége	62,80	Mélèze	40,31	Prunier	34,[illegible]
Saule pourri	52,17	Châtaignier	36,06	Érable	33,[illegible]
Paille de blé	46,99	Cerisier	35,53	Saule	33,[illegible]
Chêne	46,09	Tremble	34,87	Bourdaine	33,61
If	46,06	Pommier	34,69	Frêne	33,[illegible]
Bois de hètre	44,25	Orme	34,59	Poirier	31,[illegible]
Pin maritime	41,48	Charme	34,44	Tilleul	31,[illegible]
Peuplier, feuilles	40,95	Aulne	34,40	Peuplier (tronc)	31,[illegible]
Peuplier, racines	40,90	Bouleau	34,17	Marronnier	30,[illegible]
Pin sauvage	40,75				

Charbon roux. MM. Honzeau et Fauveau, en carbonisant incomplètement du bois au moyen des gaz d'un haut-fourneau, obtiennent pour une corde de bois pesant 375 à 380 kilog., 220 kilog. d'un charbon brun foncé, produisant autant d'effet que 117^k,7 de charbon ordinaire; le rendement apparent du bois est ainsi de 31 p. 100 de son poids en charbon ordinaire.

Emploi de la vapeur surchauffée à la carbonisation et à la dessiccation des bois, ainsi qu'à la cuisson du pain, du biscuit et de la viande, par M. Violette.

Il s'agissait avant tout, pour M. Violette, de trouver les conditions thermométriques ou de température nécessaires et suffisantes à la transformation du bois en charbon doué de qualités déterminées et exigées dans diverses branches d'industrie. 100 parties de bois donnent, selon le mode de carbonisation, 40 parties ou 15 parties seul-

t de charbon, et il est évident que les deux charbons ainsi obtenus ent différer dans leur composition chimique et leurs propriétés ctéristiques.

: premier de ces charbons, d'une couleur rousse très-prononcée, tient deux fois plus de substances volatiles, et moitié moins de care pur que le second, qui est très-noir. Le premier est flexible, oncn, moelleux au toucher; le second est roide, aigre, cassant. Le nier convient parfaitement, essentiellement à la fabrication de la dre de chasse superfine, et il importait d'arriver à le produire à) sûr, sans mélange d'autres charbons. Telle est la première diffié abordée et vaincue par M. Violette.

a constaté d'abord qu'à la température de 200° le bois ne se carise pas; qu'à 250° on n'obtient qu'un charbon non cuit, autrement des brûlots; qu'à 300° on forme le charbon *roux*, et qu'à 350° et delà l'opération donne invariablement du charbon *noir*. Le temps essaire à la carbonisation varie d'ailleurs d'une demi-heure à trois ires; les produits passent progressivement et à volonté du charbon u au charbon noir; le rendement enfin est d'autant moindre que la bonisation est plus avancée.

n conçoit l'importance de ces premiers résultats, en se rappelant on admettait que le bois ne se transformait en charbon qu'à la leur rouge, chaleur excessive si on la compare à la température de ° ou 300°, démontrée suffisante pour M. Violette.

'est en faisant usage de la vapeur d'eau surchauffée qu'est produite arbonisation. La vapeur est fournie par un générateur ordinaire; passe dans un serpentin contourné en hélice; elle en sort à une npérature déterminée, 300° par exemple, quand il s'agit de produire charbon roux; elle enveloppe un cylindre horizontal qui renferme bois; elle pénètre dans ce cylindre, échauffe le bois, opère sa carnisation complète; elle sort enfin du cylindre chargée des produits la distillation.

Par ce procédé nouveau, le rendement en charbon roux a été de pour 100, c'est-à-dire que la proportion de charbon qu'il s'agissait produire a été deux fois plus grande; il y a plus, la poudre fabriée avec le nouveau charbon présente une supériorité réelle, et, ce ui est mieux encore, le prix de revient du charbon et de la poudre minue dans une notable proportion.

M. Violette est arrivé aussi à la cuisson du pain et du biscuit de mer l'aide d'un courant de vapeur d'eau chauffée à 200°.

La vapeur d'eau surchauffée dessèche aussi avec rapidité, et il paraît ue pour les bois de toute essence ce mode de dessiccation augmente résistance à la rupture dans une très-grande proportion, malgré réduction notable de l'équarrissage.

Il y a une température à laquelle correspond le maximum d'aug-

mentation de résistance. Cette température est comprise entre 150 175° pour le bois d'orme, et entre 125 et 150° pour les autres bois. L'a croissement de résistance est de 2/3 pour le frêne, de 5/9 pour le chên de près de 1/2 pour le noyer, de 2/5 pour le sapin, et de plus de 1/3 po l'orme.

306. *Charbon de Paris.* M. Popelin-Ducarre a eu en 1846 l'idée faire un mélange de poussier de charbon de bois et de goudron; le mouler sous une forte pression en petits cylindres de 0^m,10 de lo gueur sur 0^m,03 de diamètre, et de faire prendre une grande duret ces cylindres en les soumettant à une haute température, dans d caisses ou cornues rectangulaires en briques chauffées fortement da un four continu qui rappelle ceux des usines à gaz.

Ce charbon s'embrase assez facilement, et, une fois allumé, il co tinue à brûler lentement à l'air jusqu'à ce qu'il soit entièrement co sumé, sans produire ni flamme ni fumée, ce qui le rend très-con nable pour les usages domestiques. Il produit de 15 à 20 p. 100 de ce dres, et il s'en recouvre rapidement d'une couche pendant sa co bustion. Il coûte de 15 à 16 fr. les 100 kil.

Le mélange se compose d'environ 50 kil. de goudron d'usine à pour 100 kil. de charbon menu réduit en poudre sous des meules.

Les fours sont composés de cornues ou caisses rectangulaires briques. Ces caisses sont disposées par rangs verticaux composés trois, et chaque rang est séparé du voisin par un intervalle libre 0^m,15 à 0^m,20. Chaque intervalle est garni inférieurement d'un fo qui sert à amener le four au rouge pour commencer l'opération, ouvertures ménagées dans le haut des caisses y amènent les gaz p duits pendant la distillation. Ces gaz en se brûlant maintiennent four à une température suffisante pour rendre l'opération contin sans qu'il soit nécessaire de faire du feu sur les grilles.

Un moyen qui paraît avantageux pour agglomérer les charb menus consiste à faire une pâte avec du poussier de charbon, menu de houille grasse réduit en poudre fine et de l'eau; à mou cette pâte, et soumettre les cylindres, préalablement desséchés, à temperature suffisante pour réduire la houille en coke. De l'argile proportion convenable agglomère d'une manière avantageuse charbons menus (310).

307. *Tannée.* M. Péclet rapporte que 1250 kilog. d'écorce de ch donnent 1000 kilog. de tannée sèche, qui ont à peu près la même p sance calorifique que 800 kilog. de bois, ou 300 kilog. de houille.

La puissance calorifique de la tannée parfaitement sèche est 3 au lieu que celle de la tannée du commerce n'est que 2400 (302).

Une machine de la force de 12 chevaux, construite dans un faubourgs de Paris, consomme 12 kilog. de tannée par force de che et par heure.

Paris, 1000 kilog. de tannée coûtent 10 fr.; l'équivalent de bois, :., et celui de houille, 15 fr.

)8. *Tourbe.* La tourbe séchée à l'air libre, comme on le fait ordi-:ement, contient de 25 à 30 p. 100 d'eau qu'on ne peut lui faire :dre qu'en l'exposant à un courant d'air à la température de 50 ou 60°.

3LEAU des compositions de quelques tourbes, d'après M. Regnault, et de leurs :issances calorifiques, en prenant 8080 *pour celle du carbone et* 34462 *pour celle : l'hydrogène.*

:SIGNATION DES TOURBES.	COMPOSITION.				HYDROGÈNE en excès.	PUISSANCE calorifique.
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Cendres.		
:e Vulcaire, près Abbeville	57.03	5.63	31.76	5.58	1.69	5191
:e Long, près Abbeville. .	58.09	5.93	31.37	4.61	2.04	5396
:u Champ-de-Feu, près Fromont.	57.79	6.11	30.97	5.33	2.30	5461

:s tourbes qui ont fourni les résultats de ce tableau étant parfai-:ent sèches, on doit considérer ces résultats comme supérieurs à :x fournis par les tourbes employées en industrie, qui contiennent pour 100 d'eau après une longue exposition à l'air. En tenant :pte de cette eau, les tourbes du tableau donneraient 3750 pour :ssance calorifique moyenne, c'est-à-dire à peu près celle du bois :faitement sec ou moitié de celle de la houille moyenne (302 et 314); :st ce que confirment les expériences en grand. On conçoit du reste :en raison de la composition si variable de la tourbe, il est impos-:ble d'assigner une valeur générale à sa puissance calorifique; il y a :s tourbes dont la puissance calorifique n'est que le 1/5 de celle de :houille. Pour quelques machines à vapeur chauffées à la tourbe, :a brûlé 12 kilog. de tourbe par force de cheval et par heure. Pour :e même machine à haute pression de la force de 20 chevaux, :Garnier a reconnu que pour obtenir le même effet il fallait brûler :poids deux fois plus de tourbe de seconde qualité que de houille.

:309. *Charbon de tourbe.* Le charbon de bonne tourbe contient de :à 18 pour 100 de cendres.

On peut regarder la puissance calorifique du charbon de tourbe :mme étant égale à celle du charbon qu'il contient; elle est donc :s-variable en raison de la quantité si diverse de cendres qui entre :ns sa composition. Le charbon de tourbe d'Essonne donnant 18,2 :ur 100 de cendres, il en résulte que sa puissance calorifique est de :80 $\times$ 81,8 = 6610 (302).

La tourbe des Ardennes, carbonisée en grand dans les fours en ma-

connerie, donne, d'après M. Sauvage, un produit de 44 p. 100 d'un charbon qui se compose de 0,43 de carbone, 0,32 de matières volatiles et combustibles, et 0,25 de cendres. On peut considérer 0,40 à 0,45 comme le rendement des tourbes en charbon. En meules, contenant ordinairement de 5,50 à 8,25 mètres cubes de tourbe, ce rendement en poids, rapporte M. Landrin, n'est que de 20 à 25 pour 100, et en volume, de 15 à 18.

310. *Lignite, houille et anthracite.*

D'après la manière de se comporter au feu, les houilles se divisent en :

1° *Houilles grasses maréchales.* Ce sont les plus convenables pour la forge; la plus estimée est celle de Saint-Étienne, puis celle de Mons, dite de *fine-forge.* Elles sont d'un beau noir, et d'un aspect gras bien caractéristique. Au feu, elles éprouvent une espèce de fusion pâteuse qui leur permet de résister au vent, en même temps qu'elles forment une espèce de voûte solide qui concentre la chaleur sur le fer. Sur les grilles, comme elles produisent une chaleur extrême, et que leur fusion pâteuse intercepte le passage de l'air, il en résulte que la grille est souvent brûlée et que le feu exige beaucoup de soin de la part du chauffeur.

2° *Houilles grasses et dures*, qui sont moins fusibles au feu que les précédentes, et qui fournissent un coke plus dense, d'une grande cohésion et le meilleur pour la fusion des minerais de fer.

3° *Houilles grasses à longues flammes*, qui sont encore moins collantes que les précédentes et qui conviennent parfaitement pour la fabrication du gaz d'éclairage. Leur coke est très-boursouflé, et par suite peu convenable pour les opérations métallurgiques. Elles sont très-recherchées pour les grilles, et sous ce rapport on peut placer la houille de Mons, dite *flenu*, au premier rang. Le canel-coal du Lancashire appartient à cette variété.

4° *Houilles sèches à longues flammes*, qui donnent un coke à peine fritté, dont les fragments n'ont souvent qu'une très-faible consistance. On les emploie sur les grilles; leur flamme est longue, mais de peu de durée; elles produisent une chaleur moins intense que les houilles précédentes.

5° *Houilles sèches à courtes flammes*, qui ne donnent à la carbonisation qu'un produit pulvérulent, qui brûlent difficilement, et que l'on n'emploie guère que pour la cuisson des briques et de la chaux, pour la dessiccation du malt dans les brasseries et pour les usages domestiques.

Les *lignites* se présentent à l'état compacte ou à l'état terreux. Dans le premier cas, ils ont la plus grande analogie avec la houille sèche, qu'ils remplacent pour la plupart des usages qui ne réclament pas les propriétés des houilles grasses sur les grilles, la cuisson de la chaux

les briques, le chauffage domestique. Le jayet appartient à cette èce. Leur température de combustion est peu élevée. Leur coke pulvérulent. Les lignites terreux sont utilisés comme combusti-s, et il en est dont l'altération profonde leur a communiqué la acture schisteuse et qui sont accompagnés de pyrites, qui les font ployer dans d'importantes exploitations d'alun.

Les *anthracites* brûlent difficilement, avec une flamme faible ; à la cination, les fragments ne se ramollissent pas. En Europe, on ne emploie guère que pour la cuisson de la chaux et des briques. Les iétés qui ne décrépitent pas à la première impression du feu en se uisant en petits fragments sont employées dans le pays de Galles ır les hauts-fourneaux, et aux États-Unis d'Amérique on en fait e consommation immense pour les foyers domestiques et les chau-res.

En France, le bassin houiller le plus remarquable est celui de la Loire, qui se divise deux parties distinctes, ayant pour centre, l'une Saint-Étienne, et l'autre Rive-de-r. Ce bassin fournit annuellement 15 millions de quintaux métriques, en deux va-és, dont l'une est de la houille grasse maréchale de première qualité, et dont l'autre, ns collante et plus solide, est très-recherchée comme charbon de grille. Dans les es de la Loire, la proportion du menu dépasse souvent les 2/3 de la quantité de ille extraite; on en vend une partie en cet état, et le reste est transformé en coke les lieux.

Le bassin houiller de Valenciennes, qui est le prolongement du bassin belge de Mons, rnit 10 millions de quintaux par an. Les charbons d'Anzin sont gras, collants, en éral peu sulfureux; ceux de Denain sont plus flambants, moins collants et meilleurs r la grille. Les mines de Raismes fournissent un charbon de grille maigre; celles de mes et du Vieux-Condé, un charbon sec anthraciteux. Le charbon d'Aniches est assez logue à celui d'Anzin.

lais, Decazeville, etc., produisent une grande quantité de houille consommée sur les x par les usines métallurgiques.

Le Creuzot donne une houille propre à la fabrication du coke. A Monceau, qui dépend Blanzy, la houille est impropre à la fabrication du coke; elle n'est employée que nme charbon de grille. Lorsqu'on veut produire une forte chaleur, comme dans le illage de la fonte, il faut la mélanger avec des charbons gras comme ceux de la Loire.

Les mines de Decize, près de la Loire, fournissent un charbon flambant et sulfureux nme celui de Blanzy, mais plus collant et plus durable au feu;

Les mines de Fins, dans l'Allier, donnent du charbon de forge comparable à celui de nt-Étienne; celles de Commentry, dans le même département, en fournissent un qui de très-bonne qualité et très-propre à la fabrication du coke.

Épinac (Saône-et-Loire) fournit des charbons de grille très-chauds, mais qui en-ssent plus la grille que ceux de la Loire.

Les Alpes, le Maine et l'Anjou produisent une grande quantité d'anthracite employé la cuisson de la chaux et de la brique.

Le Midi renferme beaucoup de lignites.

Les 63 bassins houillers de la France produisent annuellement millions de quintaux métriques; la consommation s'élevant à millions de quintaux, l'importation est donc de 22 millions de iintaux, dans lesquels la Belgique figure pour 13 millions et demi l'Angleterre pour 6 millions.

Le prix moyen de la houille, prise sur la mine, est 0f,80 les 100 kil. ou 0f,75 l'hectolitre. A Paris, le prix de l'hectolitre, en gros, est de 3 fr.

La houille, au moment de son extraction, ne contient que 0.02 d'eau ; mais dans le commerce, comme on n'a pas soin de l'abriter, elle en renferme toujours une quantité considérable.

D'après l'examen du tableau page 401, on est conduit à admettre 8000 pour la puissance calorifique d'une houille moyenne et de l'anthracite ; c'est du reste la valeur que des expériences faites en grand semblent assigner à la puissance calorifique de ces combustibles (311). Quant aux lignites, la puissance calorifique n'est que de 6500 (302).

Dans les foyers, la houille donne une quantité de cendres plus considérable qu'à l'analyse ; cela est dû aux parcelles de coke qui tombent de la grille et qui échappent à la combustion. Voici les quantités de cendres recueillies dans le cendrier, à la manufacture des tabacs de Paris, en opérant sur plus de 600 kilog. de houille à l'état de gaillettes :

Houille dite ancien Anzin	0.079
Id. de Newcastle (collante)	0.074
Id. de Denain (collante)	0.082
Id. dite nouvel Anzin (collante)	0.057
Id. de Decize (collante)	0.104
Id. des veines du Mathon et du Buisson (Belgique)	0.095
Id. dite Flenu, première qualité	0.095

Dans les cas ordinaires de la pratique, les houilles donnent dans le cendrier un résidu variant de 10 à 20 p. 100, 15 à 16 moyenne.

La houille se vend à la voie, qui équivaut à 15 hectolitres ras ou à 12 hectolitres combles ; c'est l'hectolitre comble que l'on emploie généralement dans les mines.

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	LOCALITÉ.	DENSITÉ.	NATURE DU COKE.	POIDS du coke.	COMPOSITION. Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Cendres.	HYDROGÈNE en excès	PUISSANCE calorifique.
Combustibles de la formation carbonifère.										
Anthracites.	Pensylvanie.	1.462	Pulvérulent.	84.83	90.45	2.43	2.45	4.67	2.09	8028
	Pays de Galles	1.348	*Id.*	89.72	92.56	3.33	2.53	1.58	2.98	8525
	Mayenne	1.367	*Id.*	89.96	91.98	3.92	3.16	0.94	3.48	8630
	Rolduc	1.343	*Id.*	86.96	91.45	4.18	3.12	2.25	3.95	8750
Houilles grasses et dures.	Alais (Rochebelle).	1.322	Boursouflé.	76.29	89.27	4.85	4.47	1.41	4.23	8670
	Rive-de-Gier (P. Henry).	1.315	*Id.*	73.34	87.85	4.90	4.29	2.96	4.30	8580
Houilles grasses maréchales.	Rive-de-Gier, 1.	1.298	Très-boursouflé.	66.72	87.45	5.14	5.63	1.78	4.36	8568
	(Grand'Croix), 2.	1.302	*Id.*	68.36	87.79	4.86	5.91	1.44	4.04	8485
	Newcastle (Richardson).	1.280	*Id.*	»	87.95	5.24	5.41	1.40	4.49	8651
Houilles grasses à longues flammes.	Flenu de Mons, 1.	1.276	Boursouflé.	»	84.67	5.29	7.94	2.10	4.18	8281
	Id. 2.	1.292	*Id.*	»	83.87	5.42	7.03	3.68	4.44	8306
	Rive-de-Gier (Cimetière), 1.	1.288	*Id.*	67.33	82.04	5.27	9.12	3.57	4.00	8006
	Id. *id.* 2.	1.294	*Id.*	66.11	84.83	5.61	6.57	2.99	4.69	8470
	Id. (Couzon), 1.	1.298	*Id.*	61.88	82.58	5.59	9.11	2.72	4.32	8160
	Id. *id.* 2.	1.311	*Id.*	60.28	81.71	4.99	7.98	5.32	3.88	7939
	Lavaysse	1.284	*Id.*	52.77	82.12	5.27	7.48	5.13	4.23	8092
	Lancashyre (Canel-coal).	1.317	*Id.*	55.35	83.75	5.66	8.04	2.55	4.54	8331
	Épinac.	1.353	*Id.*	59.97	81.12	5.10	11.25	2.53	3.53	7770
	Commentry.	1.319	*Id.*	63.16	82.72	5.29	11.75	0.24	3.65	7940
Houilles sèches à longues flammes.	Blanzy.	1.362	Fritté.	54.72	76.48	5.23	16.01	2.28	3.09	7243
Combustibles des terrains secondaires.										
Anthracite.	Lamure.	1.362	Pulvérulent.	89.5	89.77	1.67	3.99	4.57	1.49	7766
Id.	Macot.	1.919	*Id.*	88.9	71.49	0.92	1.12	26.47	0.79	6048
Houille	Obernkirchen.	1.279	Très-boursouflé.	77.8	89.50	4.83	4.67	1.00	4.27	8702
Id.	Céral	1.294	Fritté.	53.3	75.38	4.74	9.02	1.86	3.66	7351
Id.	Noroy.	1.410	Pulvérulent.	51.2	63.28	4.35	13.17	19.20	2.77	6067
Jayet.	Saint-Girons.	1.316	Fritté.	42.5	72.94	5.45	17.53	4.08	3.35	7047
Id.	Bélertat.	1.305	*Id.*	42.0	75.41	5.79	17.91	0 89	3.64	7347
Combustibles des terrains tertiaires.										
Lignite parfait.	Dax.	1.272	Pulvérulent.	49.1	70.49	5.59	18.93	4.99	3.32	6839
Id.	Bouches-du-Rhône.	1.254	*Id.*	41.1	63.88	4.58	18.11	13.43	2.41	5991
Id.	Mont-Mésiner.	1.351	*Id.*	48.5	71.71	4.85	21.67	1.77	2.25	6569
Id.	Basses-Alpes	1.276	*Id.*	49.5	70.02	5.20	21.77	3.01	2.59	6549
Lignite imparfait.	Grèce.	1.185		38.9	61.20	5.00	24.78	9.02	2.03	5643
Id.	Cologne.	1.100	Analogue au charbon de bois.	36.1	63.29	4.98	26.24	5.49	1.83	5743
Id.	Usnach (bois fossile).	1.167		»	56.04	5.70	36.07	2.19	1.38	5003
Lignite passant au bitume.	Ellebogen.	1.157	Boursouflé.	27.4	73.79	7.46	13.79	4.96	5.81	7964
	Cuba	1.197	*Id.*	39.0	75.85	7.25	12.96	3.94	5.70	8092
Asphalte.	»	1.063	*Id.*	9.0	79.18	9.30	8.72	2.80	8.26	9253

oxygène dans le rapport nécessaire pour faire de l'eau 0,46, azote 0,01, cendres 0,02.

La puissance calorifique du bois desséché à 140° est alors

$$0,50 \times 8080 + 0,01 \times 34462 = 4385. \qquad (311)$$

Rumfort a obtenu 2550 pour la puissance calorifique des bois à brûler ordinaires, et 3450 à 3960 pour différents bois préalablement desséchés sur un poêle.

La puissance calorifique paraît être la même pour tous les bois desséchés au même degré.

D'après M. Péclet, la quantité de chaleur rayonnée par le bois de hêtre en petits morceaux est à la quantité de chaleur entraînée par la fumée dans le rapport de 1 à 2,5, et, par suite, à la quantité totale de chaleur développée, dans celui de 1 à 3,5 ; ces rapports sont beaucoup plus grands pour les bois en gros morceaux donnant des charbons volumineux très-rayonnants (page 388).

M. Péclet a reconnu aussi que le pouvoir rayonnant était variable pour les différents bois en morceaux ordinaires, mais qu'il était à peu près le même pour tous les bois en petits morceaux.

TABLEAU de la composition du bois pris sur les diverses parties d'un arbre desséché à 80°, d'après les analyses récentes de M. Violette, directeur de la poudrerie d'Esquerdes. Les feuilles desséchées à 100° ont perdu 60 pour 100 d'eau et les branches 45.

COMBUSTIBLES.		CARBONE.	HYDROGÈNE.	OXYGÈNE ET AZOTE.	[illegible]
Feuilles		45.015	6.974	40.940	[illegible]
Petites branches	Écorce	52.496	7.342	36.737	[illegible]
	Bois	48.359	6.665	44.790	[illegible]
Moyenne branche	Écorce	48.855	6.342	44.121	[illegible]
	Bois	49.902	6.607	43.356	[illegible]
Grosse branche	Écorce	46.871	5.570	44.656	[illegible]
	Bois	48.003	6.472	45.170	[illegible]
Tronc	Écorce	46.267	5.930	44.755	[illegible]
	Bois	48,925	6.460	44.319	[illegible]
Grosse racine	Écorce	[illegible]	6.044	48.761	[illegible]
	Bois	[illegible]	[illegible]	44.198	[illegible]
Moyenne racine	Écorce	50.367	6.069	41.920	[illegible]
	Bois	47.390	6.259	46.126	[illegible]
Racine chevelue avec écorce		45.063	5.036	43,503	[illegible]

s'ensuit que 1 kilog. d'hydrogène exige, pour sa combustion, $\frac{9}{1} = 8$ kilog. ou $\frac{8}{1,43} = 5^{mc},594$ d'oxygène à 0° et sous la pression 76: ce qui équivaut à $\frac{5,594 \times 100}{21} = 26^{mc},638$ d'air à la même tem-rature et sous la même pression.

Connaissant alors la quantité de carbone et celle d'hydrogène en ès que contient un combustible, il sera facile de déterminer la intité d'air théoriquement nécessaire à sa combustion.

omme, dans la pratique, une quantité considérable de l'air qui se dans le foyer échappe à la combustion, il s'ensuit que pour ler 1 kilogramme de combustible, il faut une quantité d'air bien is grande que celle théoriquement nécessaire. On estime que la itié environ de l'air qui passe dans le foyer échappe à la combus-n.

C'est d'après ces suppositions que M. Péclet a obtenu les résultats tableau suivant, qui donne les quantités d'air théoriques et pra-es nécessaires à la combustion d'un kilogr. de quelques combus-les (302).

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	COMPOSITION.		VOLUME D'AIR.	
	Carbone.	Hydrogène en excès.	Théorique.	Pratique.
			m. c.	m. c.
Bois parfaitement desséché.	0.50	0.01	4.71	9.42
Bois ordinaire à 0.25 d'eau.	0.375	0.0075	3.53	7.06
Charbon de bois à 0.07 de cendres et 0.07 d'eau.	0.86	0.00	7.64	15.28
Tannée sèche.	0.48	0.01	4.53	9.06
Tannée à 0.30 d'eau.	0.336	0.007	3.17	6.34
Tourbe parfaitement sèche, à 0.05 de cendres.	0.58	0.02	5.68	11.36
Tourbe à 0.30 d'eau.	0.406	0.014	3.98	7.96
Charbon de tourbe à 0.20 de cendres.	0.80	0.00	7.10	14.20
Houille moyenne à 0.02 de cendres.	0.82	0.04	8.35	16.70
Coke à 0.4 de cendres.	0.96	0.00	8.53	17.06
Coke à 0.15 de cendres.	0.85	0.00	7.55	15.10

315. *Volume de gaz qui passe par la cheminée d'un foyer.* Le vo-me de l'acide carbonique pur étant, à la même température et à la ême pression, égal à celui de l'oxygène qui l'a formé, si le combus-le ne contenait que du carbone, le volume de gaz qui passerait par cheminée serait égal au volume d'air qui arrive sur le foyer, ra-ené à la température de la cheminée; mais il passe aussi de la peur d'eau qui provient :

1° De l'eau contenue dans le combustible, et qui donne, par kilogramme, un volume de $1^{mc},696$ de vapeur à 100° (292), lequel, ramené fictivement à 0°, devient $\frac{1,696}{1+0,367} = 1^{mc},24$; (281).

2° De l'oxygène et de l'hydrogène dans les proportions convenables pour faire de l'eau; ainsi un kilogramme de bois très-sec contenant ces deux gaz dans la proportion de 46 pour cent d'eau (304) donnera un volume de vapeur, ramené fictivement à 0°, égal à $1,24 \times 0,46 = 0^{m},57$. Si le bois était à 25 pour cent d'eau, ce volume de vapeur à 0° serait $1,24(0,25+0,46\times 0,75) = 0^{mc},74$;

3° De l'hydrogène en excès. 1 kilog. d'hydrogène exigeant 8 kilog. d'oxygène pour se brûler, c'est-à-dire pour se convertir en eau (312), il en résulte que chaque kilogramme d'oxygène brûlé donnera $1^{k},125$ de vapeur d'eau, ou $1,24\times 1,125 = 1^{mc},4$ environ de vapeur ramenée fictivement à 0°. Comme 1 kilog. d'oxygène à 0° et sous la pression $0^{m},76$ occupe un volume de $0^{mc},70$ (45), il en résulte que chaque kilogramme d'oxygène converti en vapeur donnera une augmentation de volume à 0° de $1,4-0,7=0^{mc},7$; ce qui fait voir que l'augmentation de volume est égale au volume de l'oxygène brûlé, ou encore que le volume de vapeur produit est double de celui de l'oxygène.

Le bois parfaitement sec contenant 0,01 d'hydrogène en excès, l'augmentation totale de volume due à la vapeur d'eau, ramenée fictivement à 0°, est alors, par kilogramme de bois

$$0,57 + 0,01 \times 8 \times 0,7 = 0^{mc},63.$$

Pour le bois à 0,25 d'eau, cette augmentation est

$$0,74 + 0,0075 \times 8 \times 0,7 = 0^{mc},78.$$

La tannée donne à peu près la même augmentation de volume que le bois dans les mêmes conditions de dessication; ainsi pour celle qui est à 0,30 d'eau, l'augmentation totale due à la vapeur d'eau est, par kilogramme de tannée,

$$1,24(0,30 + 0,46 \times 0,70) + 0,007 \times 8 \times 0,7 = 0^{mc},81.$$

Pour la tourbe desséchée contenant 0,35 d'hydrogène et d'oxygène dans les proportions nécessaires pour faire de l'eau, plus 0,02 d'hydrogène en excès, cette augmentation est

$$1,24 \times 0,35 + 0,02 \times 8 \times 0,7 = 0^{mc},55.$$

Pour la tourbe à 0,30 d'eau, cette augmentation devient

$$1,24(0,30 + 0,35 \times 0.70) + 0,02 \times 0,70 \times 8 \times 0,7 = 0^{mc},75.$$

Pour une houille moyenne contenant 0,12 d'hydrogène et d'oxygène

ène dans les proportions convenables pour faire de l'eau, et 0,04 hydrogène an excès, on a pour cette augmentation

$$1,24 \times 0,12 + 0,04 \times 8 \times 0,7 = 0^{mc},37.$$

TABLEAU *donnant, pour un kilogramme de quelques combustibles* (302) : 1° *le volume d'air à 0°, qui passe par le foyer pour opérer la combustion d'un kilogramme de ces combustibles ;* 2° *l'augmentation de volume due à la vapeur d'eau provenant des causes qui viennent d'être citées, cette vapeur étant ramenée fictivement à* 0° ; 3° *le volume total de gaz qui passe par la cheminée ;* 4° *le volume total de gaz qui passe par la cheminée, en faisant le coefficient de dilatation des gaz égal à* 0.00367 (281), *et la température* $t = 300°$ (*température ordinaire des gaz dans la cheminée*), *ce qui donne* $1 + at = 2,4$.

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	AIR froid.	AUGMENTATION due à la vapeur à 0°.	VOLUME DE GAZ dans la cheminée, la température dans la cheminée étant	
			t = valeur quelconque.	$t = 300°$.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
Bois parfaitement desséché. . .	9.42	0.63	10.05 $(1 + at)$	21.11
Bois ordinaire à 0.25 d'eau. . .	7.06	0.78	7.84 $(1 + at)$	16.46
Charbon de bois à 0.07 de cendres et 0.07 d'eau.	15.28	0.00	15.28 $(1 + at)$	32.09
Tannée sèche.	9.06	0.63	9.69 $(1 + at)$	20.35
Tannee à 0.30 d'eau.	6.34	0.81	7.15 $(1 + at)$	15.02
Tourbe parfaitement sèche, à 0.05 de cendres.	11.36	0.55	11.91 $(1 + at)$	25.01
Tourbe à 0.30 d'eau.	7.96	0.75	8.71 $(1 + at)$	18.29
Charbon de tourbe à 0.20 de cendres..	14.20	0.00	14.20 $(1 + at)$	29.82
Houille moyenne à 0.02 de cendres.	16.70	0.37	17.07 $(1 + at)$	35.86
Coke à 0.04 de cendres.	17.08	0.00	17.08 $(1 + at)$	35.83
Coke à 0.15 de cendres.	15.10	0.00	15.10 $(1 + at)$	31.71

Les nombres de ce tableau supposent que tout le combustible est brûlé; mais comme, dans la pratique, une partie du combustible tombe de la grille et échappe à la combustion, ainsi pour les houilles on obtient de 10 à 20 pour cent de résidu, on doit considérer ces nombres comme étant des maximums qui donneront toujours des résultats suffisants dans le calcul des dimensions de la cheminée. Des expériences faites à Wesserling, sur une même chaudière à vapeur, ont donné un volume de gaz sortant par la cheminée égal à 5,1 + at) pour le bois, et à $16(1 + at)$ pour la houille à 0,16 de résidu (310).

314. *Chaleur produite par les combustibles. Température dans le foyer. Perte de chaleur par la cheminée.* La chaleur produite par les combustibles est égale à celle développée par le carbone et l'hydro-

gène qu'ils contiennent, et toute cette chaleur est emp
évaporer l'eau contenue dans le combustible, produire la
sultant de l'hydrogène excès, et élever la température des
vapeurs qui arrivent ou se produisent dans le foyer. Si l
dissait complétement les gaz et la vapeur, on utilisera
chaleur développée par le combustible; mais s'ils se dég
la cheminée à 300° environ, comme cela a lieu ordinaireme
d'abord la chaleur latente de la vapeur d'eau, puis la c
ployée pour élever les gaz et la vapeur à 300°.

Comme 1 kilog. d'hydrogène produit 9 kilog. d'eau, la
tente de la vapeur d'eau étant 550 (288), la puissance calor
de l'hydrogène n'est, en réalité que de 34462 — 550 ×
quand les gaz se dégagent dans la cheminée à une certa
rature. Cette considération n'est pas à négliger toutes le
l'on fait usage de combustibles riches en hydrogène.

M. Péclet, en supposant que chaque combustible est
la quantité d'air théoriquement nécessaire à sa combus
avec une quantité double, a déterminé, dans chaque cas
d'azote, d'oxygène libre, d'acide carbonique et de vapeur
se trouvent dans le foyer, et de la chaleur spécifique de
ces fluides (285), il en a conclu la température des gaz da
en supposant qu'il n'y avait aucune déperdition de chale
leurs de T_1 et de T du tableau suivant expriment ces ten
suivant que l'air est totalement brûlé, ou que la moitié é
combustion.

La chaleur totale développée par le combustible se div
parties, l'une absorbée par la chaleur latente de la vapeu
l'autre employée pour élever la température des gaz et d
La première partie p se perd complétement par la chemi
à la seconde, il n'y en a qu'une portion p' qui s'en va d
minée, et on la calculera par la formule

$$p' = E \frac{t'}{T}.$$

p' perte de chaleur en unités;
E puissance calorifique du combustible (302), diminuée de la chale
par la chaleur latente de la vapeur d'eau;
t' température des gaz dans la cheminée;
T température des gaz dans le foyer, quand la moitié de l'air échap
bustion.

Les valeurs de T_1 du tableau seraient les températures dans le foyer s
tie de l'air n'échappait à la combustion.

BLEAU des valeurs de E *en supposant la chaleur latente de vaporisation de 'eau égale à* 550; *des poids de vapeur formés, et de la perte totale* p+p' *de cha-eur par la cheminée, dans le cas où* $t' = 300°$, *et que la combustion a lieu avec ne quantité d'air double de celle qui est nécessaire.*

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	PUISSANCE calori-fique.	VALEUR de E.	POIDS de vapeur.	TEMPÉRATURE dans le foyer		PERTE $p+p'$.
				T_1	T	
			kil.			
rbone.	8080	8080	0.00	2715°	1406°	1794
drogène.	34462	29512	9.00	2736	1541	10695
yde de carbone.	2403	2403	0.00	3000	1739	414
is séché à 140°.	4000	3700	0.55	2436	1770	927
is à 0,25 d'eau.	3000	2640	0.66	2237	1305	925
harbon de bois à 0,07 de cendres et 0,07 d'eau. .	7000	6960	0.07	2774	1387	1645
Tourbe sèche à 0,05 de cendres.	5300	5010	0.53	2484	1405	1360
Tourbe à 0,20 d'eau. . . .	4300	3900	0.62	2350	1336	1276
Houille moyenne.	8000	7740	0.47	2800	1487	1821
Coke à 0,05 de cendres. .	7620	7620	0.00	2755	1432	1596
Coke à 0,15 de cendres. .	6800	6800	0.00	2735	1428	1428

Ce tableau montre que, pour les combustibles ordinairement em-ployés, la chaleur entraînée dans la cheminée est environ 1/4 de la leur totale développée par ces combustibles.

CHEMINÉES.

318. *Mouvement de l'air chaud dans un tuyau vertical.* Négligeant frottements de l'air contre les parois du tuyau, si on considère couche d'air chaud qui sort du tuyau, elle est pressée de haut en par la pression atmosphérique comptée à partir du haut du tuyau, de bas en haut par la pression atmosphérique comptée à partir du du tuyau, diminuée du poids de la colonne verticale d'air chaud ntenue dans le tuyau, elle est donc en définitive sollicitée de bas haut par la différence de poids de deux colonnes égales à la hau-ur verticale H du tuyau, l'une d'air froid et l'autre d'air chaud; cette différence est évidemment égale au poids d'une colonne d'air aud égale à la dilatation de H, c'est-à-dire d'une colonne égale à

$$\frac{Ha(t'-t)}{1+at} \quad \text{ou à peu près} \quad Ha(t'-t); \qquad (281)$$

a donc

$$v = \sqrt{2gHa(t'-t)}. \qquad (228)$$

H hauteur verticale du tuyau dans lequel circule l'air chaud;
$a = 0.00367$ coefficient de dilatation de l'air (280);
t' température moyenne de l'air dans le tuyau, et que nous supposerons sur toute la longueur du tuyau;
t température de l'air extérieur.
v vitesse avec laquelle l'air chaud s'écoule par l'orifice supérieur du tu

100 parties d'air contenant 79 d'azote et 21 d'oxygène, volume de l'acide carbonique est égal au volume de l'oxygè formé, et que les densités de l'azote et de l'acide carbon respectivement 0,972 et 1,524, la densité de l'air entièrem est donc $\frac{0,972 \times 79 + 1,524 \times 21}{100} = 1,088$. Supposant que foyers la moitié de l'air échappe à la combustion, il en résu densité des gaz qui s'échappent dans la cheminée est $\frac{1+1,08}{2}$ densité qui diffère trop peu de celle de l'air, qui est 1, pour puisse pas les supposer égales, et prendre pour vitesse a nelle de la fumée dans les cheminées, celle fournie par l précédente.

Le frottement contre les parois du tuyau ou de la chem considérable, et en admettant que les gaz chauds se comporte les gaz froids (229), on peut poser, pour un tuyau vertical,

$$P - p = n' \frac{Hv^2}{D}.$$

$P = Ha(t' - t)$ pression qui produit l'écoulement du gaz au bas du tuyau, une colonne d'air chaud; c'est la pression nécessaire pour vaincr ments du gaz dans le tuyau et produire l'écoulement de ce gaz (senté par H au n° 229);

$p = \frac{v^2}{2g}$ pression qui produit la vitesse effective v, avec laquelle le gaz sor p est aussi estimé en air chaud (p est représenté par h au n°

$P - p$ perte de pression ascensionnelle due au frottement;

D diamètre du tuyau, ou côté du canal si la section est carrée; cela est vu que le rapport de la section au périmètre est le même pour l pour le carré circonscrit, et que le frottement est proportionnel de la section et en raison inverse de cette section;

n' coefficient constant pour une même nature de cheminée, et qui es près M. Péclet,

à 0,0127 pour les cheminées en poterie;
à 0,005 pour les cheminées en tôle;
à 0,0025 pour les cheminées en fonte;
et à 0,0025 pour toutes les cheminées tapissées de suie.

Dans cette formule v est la vitesse à l'extrémité de la con lieu d'être la vitesse moyenne (229); du reste, dans le cas de nées, ces deux vitesses peuvent être considérées comme éta

and leur différence dépend seulement de la variation de pression, ais non d'un échauffement direct des gaz.

Si le canal était incliné ou faisait des circuits, on aurait, en négligeant l'influence des coudes, ce que l'on peut généralement faire dans ce cas (229),

$$P - p = n' \frac{Lv^2}{D}. \qquad (b)$$

$=Ha(t'-t)$, H étant la hauteur verticale du canal ;
développement total du canal.

Si l'air circulait froid dans une portion de la conduite et chaud dans l'autre, la perte de force ascensionnelle se composerait de la perte dans chaque portion de la conduite, et on aurait

$$P - p = n' \frac{L'v^2}{D\delta} + n' \frac{L''v^2}{D}.$$

$=Ha(t'-t)$, H étant la hauteur verticale de la partie L″ de la conduite;
développement du circuit d'air froid;
développement du circuit d'air chaud;
$=\frac{v^2}{\delta^2}$ vitesse de l'air froid dans la partie L′ de la conduite; δ est le rapport de la densité de l'air froid à celle de l'air chaud; comme la partie de $P-p$ correspondant à L′ serait exprimée en air froid, on la convertit en air chaud en multipliant par δ ; c'est pourquoi on a simplement remplacé v'^2 par $\frac{v^2}{\delta}$ dans le premier terme du second membre de l'équation précédente. Si le diamètre de la conduite d'air froid, au lieu d'être D, était d, on aurait $v'^2=\frac{v^2}{\delta^2}\times\frac{D^4}{d^4}$.

Supposant le diamètre de la conduite constant sur toute sa longueur, la formule précédente devient

$$P - p = n' \frac{v^2}{D}\left(\frac{L'}{\delta} + L''\right). \qquad (c)$$

Remplaçant, dans les formules précédentes (a), (b) et (c), p par sa valeur $\frac{v^2}{2g}$, elles donnent respectivement :

$$v = \sqrt{\frac{2gPD}{D + 2gn'H}}, \quad (a') \qquad v = \sqrt{\frac{2gPD}{D + 2gn'L}}, \quad (b')$$

$$v = \sqrt{\frac{2gPD}{D + 2gn'\left(\frac{L'}{\delta} + L''\right)}}. \qquad (c')$$

M. Péclet a reconnu par expérience que la formule (b′) se vérifiait de manière satisfaisante

Pour une cheminée verticale rétrécie à sa partie supérie
mule (a) devient, en remarquant que la résistance due au
est proportionnelle au carré de la vitesse, et par conséquen
inverse du carré de la section,

$$P-p=n'\frac{Hv^2}{D}\times\frac{s^2k^2}{S^2};$$

d'où l'on tire, en faisant $p=\frac{v^2}{2g}$,

$$v=\sqrt{\frac{2gPDS^2}{DS^2+2gn'Hs^2k^2}}.$$

S section de la cheminée ;
s section de l'orifice d'écoulement ;
k coefficient de la dépense (228).

Si on suppose $\frac{S}{s}$ très-grand, on pourra négliger $2gn'H$
DS^2, et la formule précédente donnera

$$v=\sqrt{2gP};$$

c'est-à-dire que le frottement sera nul, et la vitesse de sort
fice sera égale à la vitesse théorique. On obtient à peu prè
maxima, quand le diamètre de la cheminée est égal à 2 ou
de l'orifice; au-dessus de cette limite, la vitesse n'augmen
d'une manière presque insensible.

Pour une cheminée rétrécie à la partie supérieure et s
formule (b') devient, d'après les considérations qui ont ser
la formule (a''),

$$v=\sqrt{\frac{2gPDS^2}{DS^2+2gn'Ls^2k^2}}.$$

et la formule (c'),

$$v=\sqrt{\frac{2gPDS^2}{DS^2+2gn's^2k^2\left(\frac{L'}{5}+L''\right)}}.$$

Cheminée rétrécie à la partie inférieure. D'après les expé
M. Péclet, une cheminée circulaire en fonte de 17 mètres d
et de 0m,0314 de section ou de 0m,20 de diamètre, ayant
d'abord tout ouverte, et ensuite fermée successivement à
inférieure par des plaques portant des orifices circulaires
0m,055 et 0m,0275 de diamètre, les vitesses v observées or
pectivement 4m,73, 2m,84, 1m,70 et 0m,81.

Dans ces expériences la vitesse théorique $v=\sqrt{2gHa(t'-$

olonne d'air chaud, était 10^m,74, et la résistance P—p, due au tement, 0,21v^2.

ıe ces mêmes expériences, il résulte que, pour une même chemi-, la vitesse dans le rétrécissement inférieur est d'autant plus grande : le diamètre de ce rétrécissement est plus petit. Dans la dernière expériences qui viennent d'être citées, la section de la cheminée it 0^{mc},0314, et celle de l'orifice circulaire d'entrée, 0^{mc},0006, d'où il ulte que la vitesse de la fumée dans la cheminée ayant été 0^m,81, s l'orifice inférieur elle était $\frac{0{,}81 \times 0{,}0314}{0{,}0006} = 42^m{,}39$, c'est-à-dire à près égale à 4 fois celle 10^m,74, due à la colonne d'air chaud con-ıe dans la cheminée.

a vitesse dans l'étranglement augmente encore quand on raccorde ifice avec la cheminée par une partie évasée.

I. Péclet a conclu de ses expériences pour déterminer l'influence un étranglement brusque :

Jue dans une conduite d'air, la perte de hauteur motrice produite par un étranglement est beaucoup plus petite que la hauteur qui correspond à la différence des vitesses dans et après l'étranglement ;

!ue la perte réelle est un peu plus grande que la différence des hauteurs correspondant aux vitesses, multipliée par le rapport de la surface de l'orifice à celle du canal qui suit l'étranglement ;

Jue le rélargissement brusque d'un canal, du moins dans une certaine étendue et dans une certaine limite, a peu d'influence.

16. *Maximum de tirage des cheminées.* La vitesse effective de l'air s une cheminée peut être mise sous la forme

$$v = \sqrt{\frac{2g}{m} \mathrm{H}a(t'-t)},$$

plus simplement

$$v = \sqrt{\frac{\mathrm{H}a(t'-t)}{\mathrm{M}}}.$$

, a, t' et t ont les mêmes significations qu'au n° 315 ;

: M sont des nombres constants pour une même cheminée, mais qui varient suivant la nature, la forme et les dimensions des cheminées.

lésignant par V le volume d'air écoulé en une seconde par une minée carrée dont le côté est D, on a, en conservant les mêmes otations qu'au n° 315,

$$\mathrm{V} = \mathrm{D}^2 v = \mathrm{D}^2 \sqrt{\frac{\mathrm{H}a(t'-t)}{\mathrm{M}}};$$

i l'on désigne par Q_1 le poids de ce volume d'air, on aura

Pour une cheminée verticale rétrécie à sa partie supérieure, la formule (a) devient, en remarquant que la résistance due au frottement est proportionnelle au carré de la vitesse, et par conséquent en raison inverse du carré de la section,

$$P - p = n' \frac{Hv^2}{D} \times \frac{s^2k^2}{S^2};$$

d'où l'on tire, en faisant $p = \frac{v^2}{2g}$,

$$v = \sqrt{\frac{2gPDS^2}{DS^2 + 2gn'Hs^2k^2}}. \qquad (a')$$

S section de la cheminée ;
s section de l'orifice d'écoulement ;
k coefficient de la dépense (228).

Si on suppose $\frac{S}{s}$ très-grand, on pourra négliger $2gn'Hs^2k^2$ près de DS^2, et la formule précédente donnera

$$v = \sqrt{2gP};$$

c'est-à-dire que le frottement sera nul, et la vitesse de sortie par l'orifice sera égale à la vitesse théorique. On obtient à peu près la vitesse maxima, quand le diamètre de la cheminée est égal à 2 ou 3 fois celui de l'orifice; au-dessus de cette limite, la vitesse n'augmente plus que d'une manière presque insensible.

Pour une cheminée rétrécie à la partie supérieure et sinueuse, la formule (b') devient, d'après les considérations qui ont servi à établir la formule (a''),

$$v = \sqrt{\frac{2gPDS^2}{DS^2 + 2gn'Ls^2k^2}}. \qquad (b'')$$

et la formule (c'),

$$v = \sqrt{\frac{2gPDS^2}{DS^2 + 2gn's^2k^2\left(\frac{L'}{\delta} + L''\right)}}. \qquad (c'')$$

Cheminée rétrécie à la partie inférieure. D'après les expériences de M. Péclet, une cheminée circulaire en fonte de 17 mètres de hauteur et de $0^m,0314$ de section ou de $0^m,20$ de diamètre, ayant fonctionné d'abord tout ouverte, et ensuite fermée successivement à la partie inférieure par des plaques portant des orifices circulaires de $0^m,1$ [illegible], $0^m,055$ et $0^m,0275$ de diamètre, les vitesses v observées ont été respectivement $4^m,73$, $2^m,84$, $1^m,70$ et $0^m,81$.

Dans ces expériences la vitesse théorique $v = \sqrt{2gHa(t'-t)}$, due

a colonne d'air chaud, était $10^m,74$, et la résistance $P-p$, due au rottement, $0,21v^2$.

De ces mêmes expériences, il résulte que, pour une même cheminée, la vitesse dans le rétrécissement inférieur est d'autant plus grande que le diamètre de ce rétrécissement est plus petit. Dans la dernière les expériences qui viennent d'être citées, la section de la cheminée était $0^{mc},0314$, et celle de l'orifice circulaire d'entrée, $0^{mc},0006$, d'où il résulte que la vitesse de la fumée dans la cheminée ayant été $0^m,81$, dans l'orifice inférieur elle était $\frac{0,81 \times 0,0314}{0,0006} = 42^m,39$, c'est-à-dire à peu près égale à 4 fois celle $10^m,74$, due à la colonne d'air chaud contenue dans la cheminée.

La vitesse dans l'étranglement augmente encore quand on raccorde l'orifice avec la cheminée par une partie évasée.

M. Péclet a conclu de ses expériences pour déterminer l'influence d'un étranglement brusque :

1° Que dans une conduite d'air, la perte de hauteur motrice produite par un étranglement est beaucoup plus petite que la hauteur qui correspond à la différence des vitesses dans et après l'étranglement;
2° Que la perte réelle est un peu plus grande que la différence des hauteurs correspondant aux vitesses, multipliée par le rapport de la surface de l'orifice à celle du canal qui suit l'étranglement;
3° Que le rélargissement brusque d'un canal, du moins dans une certaine étendue et dans une certaine limite, a peu d'influence.

316. *Maximum de tirage des cheminées.* La vitesse effective de l'air dans une cheminée peut être mise sous la forme

$$v = \sqrt{\frac{2g}{m} \mathrm{H}a(t'-t)},$$

ou plus simplement

$$v = \sqrt{\frac{\mathrm{H}a(t'-t)}{\mathrm{M}}}.$$

H, a, t' et t ont les mêmes significations qu'au n° 315;
et M sont des nombres constants pour une même cheminée, mais qui varient suivant la nature, la forme et les dimensions des cheminées.

Désignant par V le volume d'air écoulé en une seconde par une cheminée carrée dont le côté est D, on a, en conservant les mêmes notations qu'au n° 315,

$$\mathrm{V} = \mathrm{D}^2 v = \mathrm{D}^2 \sqrt{\frac{\mathrm{H}a(t'-t)}{\mathrm{M}}};$$

si l'on désigne par Q_1 le poids de ce volume d'air, on aura

De cette nouvelle équation on tire une première valeur de D; on la substitue dans le second membre de l'équation (c), de laquelle on tire une deuxième valeur de D plus exacte que la première, et qu'on peut adopter dans la pratique; cependant, si l'on voulait plus d'exactitude encore, on placerait cette deuxième valeur de D dans le second membre de l'équation (c), qui fournirait une troisième valeur de D plus exacte encore que la deuxième, sans cependant en différer d'une manière sensible. En continuant ainsi de suite, les valeurs de D se rapprocheraient de plus en plus de la valeur satisfaisant à l'équation (c).

Application. Soit à déterminer le côté D de la section d'une cheminée carrée de 15 mètres de hauteur, le circuit total de la fumée ayant 50 mètres de développement et une section constante, et la quantité de houille brûlée par heure étant de 80 kilog.

Supposant $t' = 297°$ et $t = 12°$, on a

$$P = 15 \times 0{,}003\,67(297 - 12) = 15^{m},62, \qquad (315)$$

et la vitesse théorique $\sqrt{2gP} = 17^{m},50$.

Faisant $V_1 = 18^{mc}$ (n° 313), la formule (b) donne

$$V = \frac{80 \times 18(1 + 0{,}003\,67 \times 297)}{3600} = 0^{mc},836.$$

La formule (d) donne alors

$$D = \sqrt[4]{\frac{13 \times 0{,}836 \times 0{,}836}{2 \times 9{,}8088 \times 15{,}62}} = 0^{m},415 \qquad (1^{re}$$

Substituant cette première valeur de D dans l'équation (c), on a

$$D = \sqrt[5]{\frac{0{,}836 \times 0{,}836(13 \times 0{,}415 + 0{,}05 \times 50)}{2 \times 9{,}8088 \times 15{,}62}} = 0^{m},448. \quad 2^{e}$$

Remplaçant $0^{m},415$ par $0^{m},448$ dans cette équation, on en tirerait $D = 0^{m},453$, troisième valeur sensiblement égale à la deuxième.

Supposant toujours $t' = 297°$, $t = 12°$ et le poids de houille à brûler par heure égal à 80 kilog., on trouve, en supposant constant et égal à 35 mètres l'espace que parcourt la fumée avant d'entrer dans la cheminée, mais en faisant varier la hauteur de la cheminée, les résultats du tableau suivant.

...ÉSIGNATION DES RÉSULTATS.	HAUTEUR DE LA CHEMINÉE.				
	10m.	15m.	20m.	25m.	30m.
...ités entiers de la fumée.	45m	50m	55m	60m	65m
...rs de $P = Ha\ (t' - t)$.	10.41	15.62	20.82	26.03	31.23
...ses théoriques $\sqrt{2gP}$.	14.29	17.50	20 21	22.60	24.75
...ses pratiques $\frac{V}{D^2} = \frac{0^m.836}{D^2}$.	3.44	4.16	4.76	5.30	5.76
...rt de ces vitesses.	4.15	4.20	4.25	4.26	4.29
...lèmes valeurs de D.	0.493	0.448	0.449	0.397	0.384
...ous D^2 en décimètres carrés.	24.30	20.07	17.56	15.76	14.52
...s de houille brûlés par heure et par ...m. carré de section des cheminées.	3.29	3.99	4.55	5.07	5.50

...formule (c) donne des résultats qui s'accordent bien avec les ...nsions des cheminées des chaudières à vapeur qui donnent le ... d'effet utile. Il vaut mieux augmenter un peu les résultats don... par cette formule que de les diminuer, on obtient un excès de ...e qu'on modère avec le registre; mais, comme généralement la ...inée va en se rétrécissant de bas en haut, il suffit de prendre ... sa section en haut les résultats que donne la formule (319).

...sera facile de modifier les résultats du tableau précédent pour ...néralité des cas qui pourront se présenter dans la pratique, et ...r de faire les calculs qu'exigent les formules (d) et (c). Ainsi, par ...ple, s'il s'agit d'un combustible qui exige un volume d'air diffé... de 18mc, volume supposé dans les calculs précédents, on mul... ..., pour le même poids de combustible, la section du tableau ... le rapport du nouveau volume à 18mc. Pour avoir le poids du ...eau combustible que l'on brûlera par décimètre carré de che...ée, il suffit de multiplier les nombres du tableau par le rapport ...mc au nouveau volume d'air exigé par un kilogramme de com...ible (313).

...section des carneaux ne doit pas être moindre que celle de la ...inée.

...ur les cheminées en métal, on peut diminuer de 1/5 à 1/4 la sec... de la même cheminée en briques ou en poterie.

...ur une cheminée ordinaire d'appartement, l'expérience prouve ...e section de 3 à 4 décimètres carrés est presque toujours suffi... (355).

... *Cheminées communes à plusieurs foyers*. Lorsqu'une cheminée ...pour plusieurs foyers, on fait sa section égale à la somme des ...ns des cheminées de tous les foyers en particulier; la section ...obtenue est un peu grande, mais l'excès de tirage qui en résulte ...ut être qu'avantageux.

319. *Construction des cheminées.* Quand les cheminées en briques sont basses, on peut les faire prismatiques à l'intérieur, et diminuer l'épaisseur des murailles par ressauts brusques apparents à l'extérieur; quand elles sont très-élevées, on leur donne une forme pyramidale ou conique à l'intérieur et à l'extérieur.

L'épaisseur des grandes cheminées d'usines est ordinairement de 0^m,22, la longueur d'une brique, à la partie supérieure; quand les cheminées sont basses, cette épaisseur au sommet est très-souvent réduite à 0,11, largeur d'une brique; la pente intérieure est de 0^m,012 à 0^m,018 par mètre, et la pente extérieure de 0^m,025 à 0^m,035. Comme l'épaisseur de la maçonnerie va en diminuant à mesure qu'on s'élève, afin de ne pas tailler les briques, on construit la cheminée pyramidale ou conique à l'extérieur, et on rachète le fruit intérieur par des ressauts brusques de 0^m,11.

Que la cheminée soit conique ou pyramidale, la base se fait prismatique, et ordinairement à section carrée. Cette base s'élève à environ 3^m,50 ou 4^m,50 au-dessus du sol, et elle descend à environ 2^m ou 2^m,50 en contre-bas, pour former la chambre d'arrivée de la fumée; elle est établie sur un massif de béton de 1 à 2 mètres d'épaisseur, ayant un empâtement de 0^m,25 à 0^m,50 tout autour des parements extérieurs de la base.

Lorsque la température de la fumée ne dépasse pas 300°, on peut faire les cheminées en briques ordinaires hourdées avec un mortier de chaux et de sable fin; le plâtre ne doit être employé que pour des températures inférieures à 100°. Si la température de la fumée atteint 500°, le parement intérieur de la cheminée, surtout à la partie inférieure, doit être en briques réfractaires hourdées avec de la terre à briques.

On construit maintenant les cheminées sans échafaudages extérieurs. L'ouvrier, qui se tient à l'intérieur, place, au fur et à mesure qu'il s'élève, des traverses en bois dans des trous qu'il a réservés dans la maçonnerie, et sur ces traverses il dispose des planches sur lesquelles il se place pour travailler. A l'une des traverses est fixée une poulie sur laquelle passe une corde manœuvrée par un treuil fixé au bas de la cheminée. A l'extrémité libre de la corde est suspendu un plateau sur lequel des garçons placent les briques et le mortier pour les élever au compagnon qui construit la cheminée.

Tous les 0^m,25 à 0^m,30 de hauteur, le maçon scelle un crampon en fer dans la maçonnerie, à l'intérieur de la cheminée. Ces crampons forment une espèce d'échelle, qui sert d'abord au maçon pour monter et descendre pendant l'exécution de la cheminée, puis par la suite pour les réparations et les nettoyages.

Le temps nécessaire à l'exécution de 1 mètre cube de maçonnerie pour ces cheminées, de la base au sommet, est en moyenne de 17 heures de briqueteur et 20 heures d'un manœuvre servant.

TABLEAU des dimensions de cheminées adoptées par un grand établissement de construction de machines à vapeur. L'épaisseur en haut est de $0^m.11$ *dans toutes les cheminées* (347).

	FORCE en chevaux.	CHEMINÉES RONDES, diamètre intérieur		CHEMINÉES CARRÉES, côté à l'intérieur		ÉPAISSEUR au bas au-dessus de la base.	HAUTEUR au-dessous de la base.	HAUTEUR de la base.
		en bas.	en haut.	en bas.	en haut.			
		m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
1 seul bouilleur.	1	0.24	0.20	0.22	0.18	0.33	8	2.50
	2	0.41	0.25	0.38	0.22	0.33	10	3.00
	3	0.56	0.28	0.53	0.25	0.33	12	3.20
	4	0.70	0.30	0.67	0.27	0.33	14	3.40
	6	0.65	0.35	0.60	0.30	0.44	16	3.60
	8	0.82	0.40	0.77	0.35	0.44	18	3.80
	10	0.74	0.42	0.70	0.38	0.55	20	3.90
	12	0.88	0.44	1.04	0.40	0.55	22	4.00
[illegible]	15	1.04	0.48	1.035	0.425	0.55	24	4.20
	20	1.16	0.54	1.10	0.48	0.55	25	4.30
	25	1.22	0.60	1.15	0.53	0.55	25	4.30
	30	1.46	0.66	1.38	0.58	0.55	28	4.60
	35	1.40	0.70	1.32	0.62	0.66	30	4.80
	40	1.45	0.75	1.37	0.67	0.66	30	4.80
	45	1.50	0.80	1.42	0.72	0.66	30	3.00
	50	1.67	0.85	1.57	0.75	0.66	32	5.00
	60	1.62	0.90	1.52	0.80	0.77	34	5 20
	70	1.80	0.96	1.69	0.85	0.77	36	5.40
	80	1.88	1.04	1.76	0.92	0.77	36	5.40
	90	1.84	1.10	1.72	0.98	0.88	38	5.60
	100	2.01	1.15	1.88	1.02	0.88	40	5.80
	120	2.11	1.25	1.96	1.10	0.88	40	3.80
	150	2.16	1.40	1.98	1.22	0.99	42	6.00
	180	2.38	1.50	2.23	1.35	0.99	44	6.20
	200	2.60	1.60	2.40	1.40	0.99	46	6.40
	250	3.04	1.80	2.82	1.58	0.99	50	6.60
	300	3.32	2.00	3.07	1.75	1.10	55	7.00

TABLEAU des épaisseurs et des hauteurs des différentes zones vertical les cheminées. La 1re zone forme le sommet de la cheminée et a 0m.11 au-dessous est la 2e zone, qui a 0m.22 d'épaisseur ; puis la 3e, qui a 0 de suite.

HAUTEUR totale de la cheminée.	1re 0m.11	2e 0m.22	3e 0m.33	4e 0m.44	5e 0m.55	6e 0m.66	7e 0m.77	8e 0m.88	0
m	m	m	m	m	m	m	m	m	
8	1.5	2.65	3.85						
10	1.8	3.3	4.9						
12	2.0	4.0	6.0						
14	2.5	4.5	7.0						
16	2.5	3.5	4.5	5.5					
18	3.0	4.0	5.0	6.0					
20	2.8	3.4	4.0	4.6	5.2				
22	3.0	3.7	4.4	5.1	5.8				
24	3.2	4.0	4.8	5 6	6.4				
25	3.3	4.15	5.0	5.85	6.7				
28	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6				
30	3.0	3.8	4.6	5.4	6.2	7.0			
32	3.3	4.1	4.9	5.7	6.5	7.5			
34	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.1	6.9		
36	3.0	3.7	4.4	5.1	5.8	6.6	7.4		
38	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	
40	3.0	3.55	4.1	4.65	5.2	5.8	6.5	7.2	
42	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.5	6.0	6
44	3.0	3.45	3.9	4.35	4.8	5.3	5.8	6.4	7
46	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.6	6.2	6.8	7
50	3.2	3.7	4.2	4.8	5.4	6.0	6.7	7.5	8
55	3.2	3.7	4.2	4.7	5.2	5.7	6.2	6.7	7

Dans ces deux tableaux, les épaisseurs sont données en
de la largeur 0m,11 d'une brique; mais il faut tenir com
paisseur des joints qui est de 0m,005 environ ; ainsi la 3e
est formée de 1 brique et demie, a 0m,34 d'épaisseur; la 4e
5e, 0m,575; la 6e, 0m,69, etc.

320. *Tirage produit par un ventilateur.* Aux bains Vigier,
après avoir circulé autour de la chaudière, passe simultané
douze petits tubes de 20 mètres de longueur plongés dans l'
qui doit servir à alimenter la chaudière. La fumée, en sort
tubes, dans lesquels elle se refroidit complétement, est foul
cheminée par un ventilateur qui a 0m,80 de diamètre et 0m
geur; le tuyau d'écoulement a 0m,20 de diamètre. Ce ventil
par un seul homme, fait 40 tours par minute, et suffit à l'a
fumée provenant de 0,44 stère de bois pelard, pesant 171 kilo
brûlés en deux heures ; ce qui fait par heure 85 kilog. qui éq
peu près à 42 kilog. de houille. Supposant que le tirage à l
absorbe le quart de la chaleur totale développée par le co
un homme, dans les circonstances défavorables que nous

, a donc produit l'effet de $\frac{42}{4} = 10^k,5$ de houille, qui correspon-
à la force de 2,5 chevaux-vapeur ou de 17 hommes.

ns une brasserie de Louvain, un ventilateur absorbant l'effet de evaux suffit en une heure à la combustion de 1000 kilog. de houille, t le 1/4, c'est-à-dire 250 kilog., serait absorbé par le tirage à l'air nd; dans ce cas, 6 chevaux en remplacent donc de 50 à 60.

our un cheval-vapeur, on brûle en 10 heures à peu près 40 kilog. houille, qui coûtent 2 fr. à Paris; un *homme-vapeur* pendant eures coûte donc $\frac{2}{7} = 0^f,30$; comme il faut 2 hommes vivants pour ravail journalier de 10 heures, ce travail coûterait donc 4 fr. en- n à Paris, c'est-à-dire autant que celui de 2 chevaux-vapeur, ou que ois celui d'un *homme-vapeur*. Cela suppose toutefois qu'on néglige ntretien de la machine, l'intérêt des frais d'établissement et l'amor- ement de ces frais; du reste, ces causes de dépense sont peu de se quand la force est prise sur une machine qui commande déjà utres appareils.

11. *Tirage produit par un jet de vapeur.* D'après des expériences I. Glépin, un jet de vapeur à 5 atmosphères lancé par un ajutage ^{m},03 de diamètre intérieur dans l'axe d'un tuyau de $0^m,50$ de dia- re et de 3^m de longueur, a produit par seconde l'écoulement de 285 d'air à la température de 17° et sous la pression de $0^m,7615$, et rès de pression intérieure a été de $0^m,0575$ d'eau ou $47^m,31$ d'air. Il ésulte que le travail produit a été de $3,285 \times 1,214 \times 47,31 = 188^{km}$, ui correspond à 2,5 chevaux-vapeur. Comme la vapeur dépensée respond à 36 chevaux, le rapport de l'effet utile à l'effet dépensé est c de 0,069.

yant fait varier le diamètre de l'ajutage, ainsi que le diamètre et auteur du tuyau, mais la pression du jet de vapeur étant toujours 5 atmosphères, M. Glépin a obtenu les résultats du tableau sui- t.

TUYAUX D'INJECTION.		Différences de pressions en hauteur d'eau, pour les diamètres intérieurs d'ajutages :		
diamètres.	hauteurs.	0m.01	0m.02	0m.03
m.	m.	m.	m.	m.
0.20	1.00	0.00325	0.0070	0.00975
	2.00	0.0045	0.00825	0.0130
	2.50	0.0040	0.0095	0.0150
0.30	1.00	0.0050	0.0120	0.0205
	2.00	0.0075	0.0180	0.0290
	2.50	0.0085	0.0200	0.0340
0.40	0.84	0.0035	0.0070	0.0110
	1.68	0.0080	0.0210	0.0370
	2.50	0.0090	0.0270	0.0500
0.45	0.83	0.0030	0.0090	0.0095
	2.00	0.0085	0.0255	0.0430
	2.50	0.00975	0.0300	0.0560
	3.00	0.0090	0.0280	0.0515
0.50	0.84	0.0035	0.0060	0.00975
	2.00	0.0090	0.02575	0.0190
	2.50	0.0105	0.0280	0.0530
	3.00	0.010	0.0310	0.0600
	3.50	0.010	0.0320	0.0560
0.55	2.00	0.0085	0.0240	0.0380
	2.50	0.0085	0.0280	0.0520
	3.00	0.0095	0.0310	0.0600
	3.50	0.0085	0.0320	0.0580

Pour les dépressions maximum de ce tableau, qui correspond[illegible] évidemment au plus grand effet utile, on déduit, par leur comp[illegible] raison au résultat indiqué ci-dessous, les rapports de l'effet utile [illegible] l'effet dépensé consignés au tableau suivant.

TUYAUX D'INJECTION.		Rapports de l'effet utile à l'effet dépensé, pour les diamètres d'ajutages :		
diamètres.	hauteurs.	0m.01	0m.02	0m.[illegible]
m.	m.			
0.20	2.00	0.0131	»	»
	2.50	»	0.0191	0.0086
0.30	2.50	0.0345	0.0562	0.0[illegible]
0.40	2.50	0.0361	0.0917	0.05[illegible]
0.45	2.50	0.0405	0.1030	0.06[illegible]
0.50	2.50	0.0425	»	»
	3.00	»	»	0.06[illegible]
	3.50	»	0.1145	»
0.55	3.00	0.0393	»	0.06[illegible]
	3.50	»	0.1145	»

ıprès les résultats de ces tableaux, on voit que l'effet utile produit un jet continu de vapeur est très-faible.

ıt effet utile est beaucoup plus grand quand le jet est intermit-, comme dans les locomotives, ce qui est probablement dû à ce ılors la vapeur agit à peu près à la manière d'un piston.

'après MM. Flachat et Petiet, le travail produit par le jet intermit-t de vapeur dans les cheminées des locomotives varie de 1/2 à 1/6 travail que la vapeur pourrait produire.

e diamètre de la cheminée d'une locomotive étant de $0^m,32$ à $0^m,35$, : volume de gaz écoulé par seconde variant de 3,72 à 8 mèt. cubes, itesse d'écoulement est de 45 à 83 mètres par seconde, au lieu de 3 mètres qu'elle pourrait être par le simple tirage de la chemi-·316.

FOYERS.

522. *Dimensions des différentes parties d'un foyer* (fig. 63 et 64, 324). L'ouverture du cendrier doit être assez grande pour laisser ser l'air froid nécessaire à la combustion; elle doit être au moins le à la section des carneaux ou de la cheminée, et il convient, pour pas brûler de combustible inutilement, de la garnir d'une porte que ı ferme pendant les heures de repos (317).

es barreaux des grilles ont ordinairement de $0^m,03$ à $0^m,024$ de lar-ır, et ils sont espacés entre eux de $0^m,01$ à $0^m,008$; quelquefois cette isseur est réduite à $0^m,015$, avec toujours 1/4 environ d'espace libre. combustibles qui se divisent sur la grille exigent des intervalles s-faibles entre les barreaux.

es barreaux en fer sont rectangulaires et souvent carrés. Pour les ers des fourneaux métallurgiques, destinés à produire de très-utes températures, M. Corbin a eu l'idée de faire les barreaux en fer de leur donner $0^m,30$ de hauteur. L'air qui arrive s'échauffe forte-nt entre les barreaux, en même temps qu'il les refroidit.

Les barreaux en fonte sont ceux que l'on emploie le plus habituel-nent. Ils sont plus larges en haut qu'en bas, afin que, malgré leur us grande hauteur, qui atteint de $0^m,08$ à $0^m,10$ au milieu pour des rreaux de 1 mètre de longueur, la grille ne s'encrasse pas. Ils ont peu la forme d'un solide d'égale résistance (249); ainsi, des bar-aux ayant de $0^m,08$ à $0^m,10$ de hauteur au milieu n'auraient que de ,05 à $0^m,06$ aux extrémités, mais avec une épaisseur supérieure uni-rme. Des petites saillies latérales venues aux extrémités des bar-aux, ainsi qu'au milieu quand ils sont longs, en maintiennent l'é-rtement. On laisse aux extrémités des barreaux mis en place un jeu 1/24 de leur longueur, afin qu'ils puissent se dilater librement.

La surface des grilles est de 1 décimètre carré pour 1 kilog. ou 2 kilog. de houille à brûler par heure; cependant on va à $1^k,5$ et

même à deux kilog. sans que l'effet en soit sensiblement diminué. Pour quelques grilles, cette consommation a été réduite jusqu'à $0^k,3$; mais alors il faut que le tirage à travers la grille soit faible, comme, par exemple, sous les chaudières en plomb. D'après quelques résultats obtenus, on peut admettre que les grandes grilles sont favorables à l'effet produit par le combustible, mais il est plus difficile d'en obtenir un feu d'une intensité uniforme; c'est ce qui fait que des ingénieurs, d'abord partisans des grandes grilles, reviennent aux grilles brûlant de 1 à 1.2 kilog. par décimètre carré. Pour les chaudières de navires, cette consommation varie de 0,5 à 0,6 kilog., et elle atteint 0,8 à 1 kil. quand le tirage est forcé.

L'épaisseur de houille sur la grille varie de $0^m,05$ à $0^m,08$, suivant qu'elle est plus ou moins menue. Pour les houilles sèches, la consommation est de $0^k,4$ par décimètre carré de grille; leur épaisseur sur la grille est de $0^m,20$. Pour les chaudières de navires, l'épaisseur de houille sur la grille varie de $0^m,10$ à $0^m,14$. Pour le coke, dont la consommation par heure varie de 3 à 4 kil. par décimètre carré de surface de grille, l'épaisseur de la couche de combustible sur la grille varie de $0^m,20$ à $0^m,30$. Dans les locomotives, où le tirage est très-grand, chaque décimètre carré de surface de grille brûle environ $4^k,30$ de coke par heure. Pour le bois, la tourbe et la tannée en mottes, la surface de la grille est de 3 décimèt. carrés par 10 kilog. de bois à brûler par heure.

Pour la houille, la distance entre la grille et la chaudière ou les bouilleurs varie de $0^m,30$ à $0^m,35$, et elle atteint $0^m,40$ pour les très-grands foyers; pour les houilles sèches, cette distance est de $0^m,50$; pour la tourbe, elle est de $0^m,50$ à $0^m,55$; pour le coke, $0^m,60$, et pour le bois, de $0^m,60$ à $0^m,75$.

Les portes de foyer ont de $0^m,25$ à $0^m,30$ de hauteur, avec une largeur seulement suffisante pour pouvoir facilement charger et tisonner la grille. La distance de la porte au devant de la grille varie de $0^m,25$ à $0^m,40$, suivant les dimensions du foyer. Les portes sont en fonte, et, selon leur largeur, on les fait à un ou deux ventaux. Pour la facilité du chargement, il convient que le seuil de la porte soit à $0^m,80$ au-dessus du sol.

323. *Foyers fumivores.* Le combustible placé sur la grille doit être complétement brûlé, c'est-à-dire transformé en acide carbonique, et cela avec le moins d'oxygène possible. Ce résultat est très-important, tant sous le rapport de l'économie du combustible, que sous celui de la suppression de cette fumée épaisse que produit un foyer mal gouverné, et qui est si incommode, surtout dans les grands centres de population. On conçoit alors que la recherche d'un foyer fumivore a dû occuper bien des savants et praticiens. On a essayé un grand nombre de dispositions, dont quelques-unes ont donné des résultats que l'on peut considérer, eu égard à la difficulté du problème, comme assez satisfaisants; mais tant que l'expérience n'aura pas prononcé d'une

manière définitive, que l'on n'oublie pas qu'un chauffeur intelligent, en chargeant convenablement et à propos, peut rendre à peu près fumivore un foyer ordinaire; c'est ce qui résulte de l'instruction suivante, rédigée par le conseil d'hygiène et de salubrité du département de la Seine, et notifiée à tous les propriétaires de chaudières à vapeur de ce département.

De concert avec M. Fournier, mécanicien, nous faisons construire une disposition de foyer qui obligera toujours les chauffeurs à charger la houille sur le devant de la grille. L'appareil consiste en une caisse rectangulaire en fonte faisant saillie sur le devant du fourneau et allant jusqu'à la grille, et dont le dessus est fermé par une plaque de fonte qui peut avancer ou reculer en glissant dans des coulisses. Cette plaque étant poussée, on remplit de houille la partie découverte de la caisse; on retire alors la plaque jusqu'à ce qu'elle recouvre la houille chargée, et à l'aide de la paroi mobile formant le devant de la caisse, on pousse graduellement le combustible sur la grille. La porte du foyer ne sert qu'au passage du ringard pour étaler de temps à autre le coke sur la grille; elle est par conséquent très-petite. Les scories vont se réunir sur le fond de la grille, d'où on les fait tomber dans le cendrier en inclinant ce fond, dont une certaine longueur est d'une seule pièce mobile autour d'un axe.

Instruction sur les moyens d'empêcher la production de la fumée et d'en opérer la combustion.

Depuis la promulgation de l'ordonnance de police du 11 novembre 1854, rendue sur l'avis du Conseil d'Hygiène publique et de Salubrité, et portant que, dans un délai de six mois, les propriétaires d'usines où l'on fait usage d'appareils à vapeur, seront tenus de brûler la fumée produite par les fourneaux de ces appareils ou de les alimenter avec des combustibles qui ne donnent pas plus de fumée que le coke ou le bois; plusieurs usiniers, auxquels ladite ordonnance est applicable, se sont adressés à l'Administration pour lui demander l'indication des moyens à employer afin de satisfaire à ses prescriptions. Quelques-uns d'entre eux ajoutent qu'ils ont fait, à diverses époques, des tentatives pour brûler la fumée et n'en ont obtenu que des résultats incomplets ou nuls. D'un autre côté, plusieurs personnes ont appelé l'attention de M. le Préfet de police sur des procédés ou appareils fumivores pour lesquels elles sollicitaient son approbation. Les procédés ainsi indiqués et les applications qu'on en a faites ont été l'objet de l'examen du Conseil d'Hygiène publique et de Salubrité. Les nouvelles observations qu'il a recueillies l'ont confirmé dans l'opinion qu'il est possible de prévenir, au moyen de dispositions judicieuses et de soins convenables donnés à la conduite du foyer, l'émission de fumée par les fourneaux alimentés avec de la houille.

L'administration n'a point à prescrire, ni à recommander de préférence certains appareils ou procédés fumivores. Elle engagerait ainsi sa responsabilité et risquerait de toucher à des intérêts privés auxquels elle doit et veut rester étrangère. D'ailleurs, les moyens de prévenir ou de brûler la fumée sont nombreux et variés; ils doivent être modifiés non-seulement dans les dimensions, mais dans les parties essentielles des appareils qu'ils comportent, suivant les fourneaux auxquels on les applique. Le but de la présente instruction est donc uniquement de donner des indications générales aux propriétaires d'appareils à vapeur, qui doivent adopter, après examen et informations, le procédé qui leur paraîtra le mieux approprié au genre de foyers qu'ils emploient, et s'adresser, pour l'exécution, à un ingénieur ou constructeur de leur choix.

L'origine de la fumée est dans les produits volatils qui se dégage
de la plupart des combustibles, tels que les diverses variétés de houil
bois, lorsqu'ils sont exposés soudainement à une température élevée. C
en majeure partie, des carbures d'hydrogène, qui sont eux-mêmes tr
Mais, pour qu'ils s'enflamment, deux conditions sont nécessaires :
avec l'air en proportion convenable; 2° une haute température de c
deux conditions ne sont pas réalisées dans le foyer lui-même, ou dans
parcourent les produits gazeux de la combustion, les carbures d'hy
une décomposition dont le résultat est un dépôt abondant de suie ou de
ticules tenues qui sont entraînées dans le courant de gaz sortant par l'
minée. Lorsque l'on jette sur une grille, actuellement couverte de co
une quantité de houille assez considérable pour la couvrir presque
couche de 20 à 25 centimètres d'épaisseur, les parties de houille fra
vent en contact avec le coke, subissent une distillation rapide; la ten
térieur du foyer baisse subitement, en même temps que le passage de
grille et la charge de combustible se trouve obstrué. Aucune des de
cessaires pour l'inflammation des carbures d'hydrogène n'est réalisée;
torrents d'une fumée opaque sortir par la cheminée. L'introduction
telles circonstances, par la porte du foyer ou par toute autre ouvertu
rectement au-dessus du chargement de houille, reste sans effet, parce
ture est insuffisante pour l'inflammation des produits gazeux. La fu
duellement d'intensité, à mesure que la houille se convertit en coke, p
des parties volatiles; que l'air trouve un accès plus libre à travers le
gloméré en morceaux laissant entre eux d'assez larges intervalles, et q
s'élève de nouveau, par l'effet de la combustion. Si, avant que la dist
plète, on agite avec un ringard le mélange de houille et de coke dép
on amène des portions de houille non encore carbonisée au contact
coke les plus chauds, la distillation devient plus rapide et il y a une
fumée.

Les foyers dont les grilles ont assez d'étendue pour que les charge
ne les recouvrent qu'en partie et en couche de faible épaisseur, donne
surtout si la houille y est chargée par petites quantités à la fois, et s
précaution de déposer la charge sur la partie antérieure de la grille,
les produits gazeux de la distillation arrivent aux carneaux, en passant
coke embrasé qui recouvre la partie postérieure, et laisse toujours un
à l'entrée de l'air. La production de fumée est considérablement accru
sions trop petites des grilles, eu égard à la quantité de combustible qu
dans un temps donné, et par une mauvaise conduite du foyer de la p
qui chargent à de trop longs intervalles et par trop grandes quantités
d'autant plus abondante, toutes choses égales d'ailleurs, que l'on fa
bustibles contenant plus de parties volatiles, et, pour ne parler que
variétés *plus grasses et plus collantes*. Les houilles sèches de quelques
tement du Nord et des environs de Charleroy, en Belgique, ne don
fumée, dans des foyers passablement construits et alimentés avec
coke n'en donne point du tout; il ne s'écoule, par l'orifice de la che
alimentés avec ce combustible, que des gaz incolores entraînant que
poussières extrêmement ténues.

Il n'est pas possible de décrire, dans une instruction, les nomb
procédés qui ont été imaginés dans le but de prévenir, de brûler ou
fumée. Nous ne pouvons qu'indiquer d'une manière générale les prin
ils reposent (1).

(1) On trouvera des renseignements et des détails plus étendus sur cette matière
scientifiques et industriels, particulièrement dans une notice insérée au bulletin d
de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, et qui a été imprimée
soins de la Société.

Tous les appareils et procédés fumivores connus ont pour but de réaliser les deux conditions que nous avons indiquées comme nécessaires pour opérer l'inflammation et la combustion complète, dans le fourneau, des carbures d'hydrogène résultant de la distillation du combustible.

Les uns comportent des appareils mécaniques, mis en jeu par la machine à vapeur employée dans l'établissement, et qui ont pour objet de distribuer le combustible sur la grille, soit d'une manière continue, soit par petites portions à la fois, à des intervalles de temps réguliers et courts. Tels sont les distributeurs mécaniques et les grilles mobiles qui sont généralement désignés par les noms de leurs inventeurs.

D'autres comportent seulement des appareils fixes ou mus à la main par le chauffeur, ils sont destinés à mesurer les charges de combustible que l'on introduit dans le foyer, sans donner accès, par l'ouverture de la porte, à un grand volume d'air qui occasionnerait un refroidissement nuisible. Ils sont, le plus souvent, combinés avec des dispositions particulières du foyer et des ouvertures ménagées dans la porte ou les parois et munies de registres qui sont ouverts, après chaque chargement, pour admettre l'air nécessaire à la combustion des produits de la distillation. Quelques-uns sont disposés de manière que le combustible frais soit amené dans le foyer en dessous du combustible déjà carbonisé, à l'inverse de ce qui a lieu dans les fourneaux ordinaires, où le combustible frais est jeté à la pelle sur le coke dont la grille est couverte. L'air arrive sur la houille, à l'endroit où elle commence à distiller, de sorte que les produits volatils combustibles s'enflamment au moment même où ils prennent naissance.

Un grand nombre d'appareils comportent deux ou plusieurs foyers qui doivent être chargés alternativement; des jeux de registres convenablement disposés et que le chauffeur manœuvre au moment opportun, forcent les produits fumeux du foyer récemment chargé à passer dans celui qui contient du combustible déjà carbonisé, quelquefois même à traverser la grille de ce foyer et le coke embrasé qui la couvre. L'air arrivant d'ailleurs en quantité suffisante, soit entre les barreaux de cette grille, soit, au besoin, par des ouvreaux particuliers, les produits gazeux émanés du premier foyer s'enflamment et sont brûlés complétement dans le second.

D'autres procédés comportent seulement des fourneaux et des grilles de formes spéciales, par exemple, des grilles inclinées et disposées en marches d'escalier, et des ouvreaux, pourvus de registres, par lesquels l'air extérieur est admis au milieu des produits gazeux de la combustion, soit d'une manière continue, soit par intervalles.

On a essayé d'éviter la fumée au moyen d'un courant d'air forcé qu'un ventilateur lance sous la grille, ou qui est simplement déterminé par un filet de vapeur venant de la chaudière, et que l'on fait jaillir dans l'axe d'un tuyau cylindrique, ouvert à ses deux extrémités, dont une débouche dans l'atmosphère et l'autre dans le cendrier.

On a appliqué au chauffage des chaudières à vapeur et autres foyers industriels, la combustion du gaz oxyde de carbone qui se dégage abondamment par les gueulards des hauts fourneaux à fondre les minerais, alimentés au charbon de bois ou au coke. On se procure même l'oxyde de carbone mêlé à d'autres produits gazeux inflammables, en traitant, dans des appareils spéciaux, des combustibles de toute nature, et principalement ceux de qualité inférieure, tels que des poussiers de halle à charbon, des houilles terreuses, de la tourbe, etc. Ces gaz sont amenés dans les foyers où on veut les utiliser, en même temps que de l'air atmosphérique en proportion convenable. Le mélange, une fois allumé, continue à brûler sans émission de fumée.

Enfin, on a, dans quelques cas, soumis les gaz fumeux, qui émanent d'un ou de plusieurs fourneaux, à une sorte de lavage qui les dépouille des particules de charbon et des poussières dont ils sont chargés. A cet effet, on les fait passer dans une galerie, sur une couche d'eau qui en occupe la partie inférieure. Un appareil approprié relève incessamment l'eau, pour la laisser retomber en pluie ou la lancer en gouttelettes au milieu du courant gazeux. On obtient ainsi un dépôt de noir de fumée que l'on retire, de temps à autre, de la galerie de condensation.

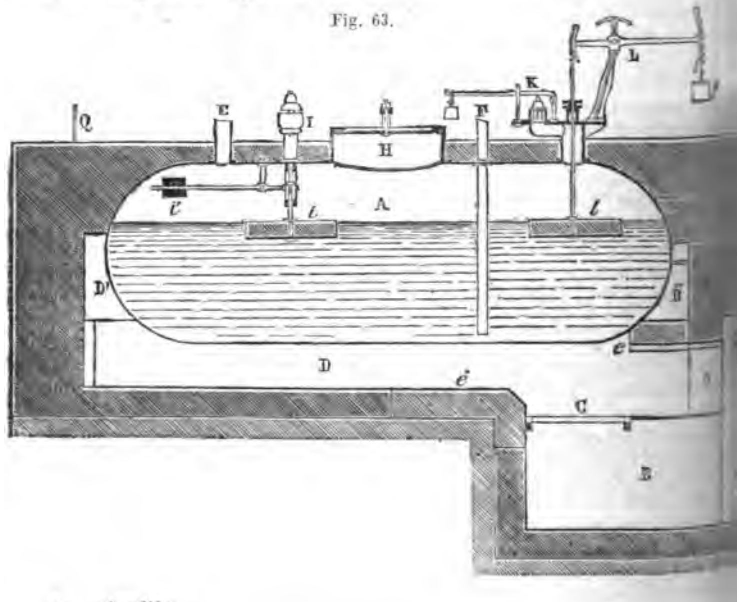
Il n'est aucun des procédés énumérés ci-dessus qui n'ait été déjà appliqué pour prévenir ou supprimer la fumée, et qui n'ait donné des résultats satisfaisants, sous ce rapport, lorsqu'il a été adapté à des foyers bien disposés, confiés à des chauffeurs attentifs et un peu intelligents. On a cité, il est vrai, un grand nombre d'insuccès, mais ils sont imputables à un défaut d'harmonie entre les appareils et les foyers auxquels on a voulu les appliquer, ou bien à la négligence des chauffeurs, des contre-maîtres et propriétaires d'usines, et, le plus souvent, à ce que l'on a voulu forcer la production de vapeur, en dépassant les limites en vue desquelles les appareils avaient été primitivement établis. L'administration, pressée par de fréquentes et vives réclamations de mettre un terme aux inconvénients sans cesse croissants de la fumée, n'a pas dû se laisser arrêter par des faits négatifs, qui ne sauraient prévaloir contre les bons résultats obtenus ailleurs, d'une manière soutenue, au moyen d'appareils judicieusement appliqués et mis en œuvre avec les précautions convenables.

Dans le cas où, par suite des dimensions trop petites de la grille ou de toute autre circonstance, aucun moyen de prévenir l'émission de la fumée ne serait applicable; l'emploi des combustibles fumeux devrait être remplacé par l'usage exclusif du coke.

CHAUDIÈRES A VAPEUR.

324. La figure 63 représente, à l'échelle de 1/30, la *coupe par l'ax[e] d'un fourneau et d'une chaudière à vapeur munie de tous les access[oires] dont elle peut être garnie.*

Fig. 63.



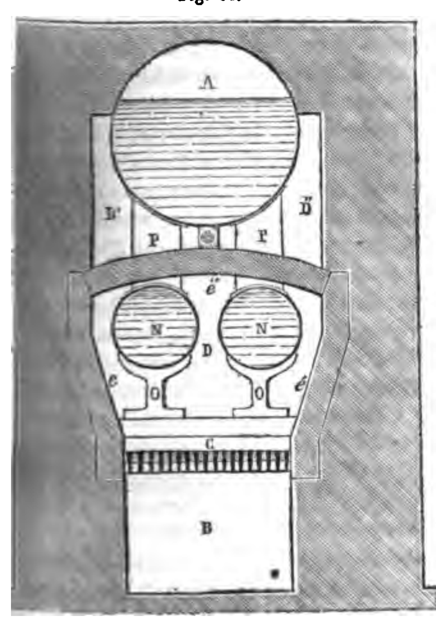
A chaudière;
B cendrier;
C grille;
D, D', D'' carneaux. La fumée, en quittant la grille, suit le fond de la chaudière [...] elle s'élève en D', revient sur le devant du fourneau par un côté de la chau[dière]

dière; puis elle tourne en D″ pour regagner le derrière du fourneau en suivant l'autre côté de la chaudière; enfin un canal la conduit à la cheminée. La section des carneaux est ordinairement égale à celle de la cheminée à sa partie supérieure (317);

E tuyau de prise de vapeur;
F tuyau d'alimentation de la chaudière;
G robinet de vidange de la chaudière;
H *trou d'homme*, à fermeture autoclave formée par une plaque de fonte; il permet d'entrer dans la chaudière pour la nettoyer;
I sifflet d'alarme;
i flotteur du sifflet d'alarme;
i′ contre-poids de ce flotteur;
k soupape de sûreté chargée par l'intermédiaire d'un levier;
L indicateur à flotteur *l*, et à contre-poids *l′*, du niveau de l'eau dans la chaudière;
l tube en verre placé au devant du fourneau, et indiquant le niveau de l'eau dans la chaudière;
N, N′ robinets indicateurs du niveau; l'un doit toujours donner de l'eau, et l'autre de la vapeur;
O embrasure en fonte formant l'ouverture du foyer, et sur laquelle se fixe et s'applique la porte;
Q tige servant à manœuvrer le registre qui règle le tirage, en permettant de fermer plus ou moins le canal qui conduit la fumée à la cheminée;
e, e′ parties en briques réfractaires.

La figure 64 est, à l'échelle de 1/40, *la coupe perpendiculaire à l'axe d'un fourneau et d'une chaudière à bouilleurs* (336).

Fig. 64.



A chaudière;
B cendrier;
C grille;
D, D′, D″ carneaux. La fumée va du foyer à l'autre extrémité de la chaudière par D; elle revient au-devant de la chaudière par D′, et elle s'en retourne derrière par D″; pour de là aller à la cheminée.

Quelquefois la murette en briques séparant les carneaux D′, D″ est reportée d'une certaine quantité vers le carneau D″ afin d'augmenter la section du carneau D′, dans lequel la fumée circule à une plus haute température, c'est-à-dire plus dilatée. La voûte séparative du carneau D de ceux D′ et D″ étant à une certaine distance au-dessus des

bouilleurs, chauffent fortement le dessus de ceux-ci par rayonn
résulte parfois des coups de feu qui détruisent promptement
dont la partie supérieure ne contient que de la vapeur. C'est
inconvénient que le plus souvent la voûte est simplement rem
cloison horizontale en briques reposant sur les bouilleurs, qu
ou dépassent de quelques centimètres supérieurement.

Les cloisons séparatives des carneaux ont 0m,11 d'épaisseur
des fourneaux, à l'endroit des carneaux, ont ordinairement 0m,
et même plus pour les grands. La muraille du devant est perc
face de chaque carneau pour en faciliter le nettoyage; ces trous
une murette en briques de champ que l'on enlève facilement.

e, *e'*, *e''* parties en briques réfractaires.

N, N bouilleurs;

P, P cuissards; ils établissent la communication entre la chaudière et l
Il y a deux cuissard par bouilleur, leur diamètre est de 0m,
tites chaudières et de 0m,35 pour celles de 40 chevaux. Leur lo
que la distance verticale entre le bas de la chaudière et le dessu
est de 0m,30 ou 0m,32.

O, O chandeliers en fonte supportant la chaudière; celle-ci est en outre
oreilles en fonte venant reposer sur la maçonnerie au-dessus d
rieur des carneaux; il est bon d'interposer entre ces oreilles e
des barres de fer méplat de 0m,40 environ de longueur Une
de longueur et de 1m,10 de diamètre porte, de chaque côté,
0m,20 de largeur et de 0m,35 de saillie sur la chaudière.

323. *Transmission de la chaleur à travers des plaques*
On admet en physique que la quantité de chaleur qui pa
une plaque homogène à faces parallèles, est proporti
différence des températures des deux faces de la pl
raison inverse de son épaisseur. M. Péclet a cherché à
loi par expérience; et il a reconnu que pour des plaq
ques, chauffées d'un côté par l'eau ou par la vapeur et
l'autre par l'eau, l'influence de l'épaisseur des plaques
quand on ne renouvelait pas convenablement l'eau en
leurs faces; mais que la loi relative à l'épaisseur se vé
l'eau était vivement agitée. M. Péclet a aussi reconnu
tité de chaleur qui passerait en une seconde à travers u
plomb de 1 mètre carré de surface et de 0m,001 d'épa
une différence de température de 1° entre les deux fac
3,84 unités. Alors, en admettant les coefficients de cond
métaux du n° 270, la quantité de chaleur qui passerait à
même plaque placée dans les mêmes circonstances, sera

L'or.	21.39	La fonte.	12.38	Le plomb.
Le platine.	20.99	Le fer.	8.01	Le marbre.
L'argent.	20.81	Le zinc.	7.77	La porcelai
Le cuivre.	19.16	L'étain.	6.50	La terre c

D'après Clément, une plaque de cuivre de 1 mètre carr
et de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, dont une face est cha
la vapeur à 100°, et dont l'autre est refroidie par de l'eau

se par heure 100 kilog. de vapeur; ce qui fait seulement 0,21 d'u-
: de chaleur qui passent à travers la plaque, par seconde et pour
: différence de température de 1°. D'après MM. Thomas et Laurens,
moyen d'un tuyau en cuivre d'un petit diamètre, on aurait con-
isé 400 kilog. de vapeur par mètre carré de surface de tuyau, par
ure et pour une différence de température de 45°; ce qui ferait
6 unités de chaleur qui passeraient à travers 1 mètre carré de
face de tuyau, par seconde, pour une différence de température
1°. On doit sans doute attribuer l'excès de ce résultat sur celui de
ment, à ce que l'air étant chassé dans le tuyau, il n'empêchait pas
contact de la vapeur avec les parois refroidissantes. D'après ces ré-
tats et celui du tableau précédent, on voit la différence énorme
chaleur qui passe à travers une plaque de cuivre, suivant qu'on
ite ou non le liquide en contact (consulter l'article *Chauffage*).

Lorsqu'on échauffe un liquide par un gaz, comme dans les chau-
res à vapeur, ou un gaz par un autre, comme dans les calorifères,
peut, dans la pratique, négliger l'influence de l'épaisseur du
tal.

86. *Métaux employés à la fabrication des chaudières à vapeur.*
x et poids des chaudières. Ces métaux sont la fonte, la tôle et le
vre rouge (263); mais on emploie généralement la tôle, à cause
sa grande ténacité et de son prix modéré; cependant, pour les
its appareils, il est bon d'employer le cuivre, qui se courbe faci-
ment sur un très-petit rayon; il convient aussi de recourir au
vre quand les eaux sont acides, comme dans les ardoisières.

D'après les expériences de Tredgold et celles de Clément Desormes,
fonte, la tôle rouillée et le cuivre noirci laissent passer à peu
s la même quantité de chaleur dans le même temps, la fonte étant
premier rang et le cuivre au dernier; dans les chaudières à va-
ur, la couche de suie tend encore à rendre égaux les effets de ces
taux.

Le prix de vente des chaudières ordinaires est, pour 100 kilog.,
fr. pour celles en tôle; 450 fr. pour celles en cuivre, et 45 fr. pour
lles en fonte.

Les vieilles chaudières se revendent, pour 100 kilog., 15 à 20 fr.,
ivant leur état, si elles sont en tôle; 250 fr. si elles sont en cuivre,
12 fr. si elles sont en fonte.

La durée relative de ces diverses chaudières est une considération
ès-importante qui doit guider dans leur choix; mais cette durée, qui
épend des qualités de la matière dont la chaudière est fabriquée, de
usage de la chaudière et de la manière dont le feu est conduit, est
out à fait indéterminée; tout ce que l'on peut dire, c'est que, toutes
hoses égales d'ailleurs, les chaudières en cuivre ont une plus grande
urée que les autres. Ce sont surtout le capital premier et son intérêt

qui donnent l'avantage aux chaudières en tôle et en font
cuivre; on rejette les chaudières en fonte à cause de le
par un changement brusque de température.

M. Bardies aîné, associé de la maison de chaudronne
coudun, nous communique la note suivante :

« Le prix des chaudières à vapeur varie suivant leu
timbre, qui détermine l'épaisseur, et leur force en chev

» Prenant pour point de départ la forme ordinaire à de
et le timbre 5, on peut compter en moyenne, pour les
tôle, 225 kilog. par force de cheval, au prix de 100 fr.
et pour celles en cuivre, 250 kilog. par cheval, au prix
100 kilog.

» Les progrès de la chaudronnerie ne permettent pas
quant à ces données; il faut tenir compte des formes
viennent chaque jour apporter des économies comme p
volume, comme vaporisation. Des chaudières sont tub
zontales ou verticales; d'autres sont tubulaires et à foy
forme locomotive et locomobile. On ne peut rien préci
prix de ces chaudières, d'une construction assez difficil
on peut compter en moyenne sur 150 fr. les 100 kilog. p
sur 480 fr. les 100 kilog. pour les tubes.

» Le prix de revente des vieilles chaudières est de 15 fr.
vu qu'il faut tenir compte de leur démolition, les maît
n'achetant que des menues ferrailles. »

Multipliant la surface d'une chaudière ou d'un bouille
carrés par son épaisseur en millimètres, on a le volume
en décimètre cube; augmentant ce volume de son d
tenir compte des croisements de la tôle et des rivets, et
le résultat obtenu par la densité 7,8 de la tôle on a très-
tivement le poids de la chaudière ou du bouilleur en ki
Le poids des accessoires, soupapes de sûreté, flotteu
grilles, plaques du fourneau est environ le quart de celui
dière. Le poids des chaudières est, à épaisseur égale, se
proportionnel à leur puissance.

327. *Surface de chauffe des chaudières à vapeur.* D'aprè
tian, un mètre carré de surface de chaudière en fonte, ex
le plus violent et entièrement plongé dans la flamme, proc
de vapeur à l'heure. Clément a obtenu les mêmes résulta
chaudière en cuivre de 3 millimètres d'épaisseur placée dans
circonstances.

On n'a pas d'expériences bien concluantes sur la puissa
porisation de la surface en contact avec les carneaux. Les
ordinaires les mieux établies, c'est-à-dire celles qui produ
à 7 kilog. de vapeur par kilogramme de houille, avec dé

umée à 300°, ne produisent en une heure que de 15 à 30 kilog. apeur par mètre carré de surface de chauffe totale. Des construcs adoptent quelquefois 25 kilog.; mais il vaut mieux déterminer urface de chauffe en ne comptant que sur une production de ilog. au maximum. Les chaudières d'établissements de bains ne duisent que 12 kilog. environ de vapeur, ou mieux ne laissent ser que la quantité de chaleur équivalente à cette production, par re carré de surface de chauffe et par heure. Les chaudières de aux en produisent 15 à 20 kilog. ou 30 à 35 kilog. selon que la bustion est lente ou active; dans ce dernier cas, elles consomit beaucoup de combustible.

a surface de chauffe se compose de la surface totale des bouilleurs e la partie de la surface de la chaudière comprise au-dessous du eau supérieur des carneaux, niveau qui se trouve à $0^m,10$ ou $0^m,12$ dessus de l'axe de la chaudière; les parties des bouilleurs et de la udière en contact avec les murettes qui divisent les carneaux sont ardées comme surface de chauffe.

rès-souvent les chaudières portent un cylindre vertical de $0^m,60$,80 de diamètre et de $0^m,80$ à $0^m,90$ de hauteur, saillant sur le s de la chaudière et faisant office de réservoir à vapeur. Le ni- de l'eau se trouve aux 2/3 du diamètre de la chaudière; les carx s'élèvent à $0^m,10$ en contre-bas de ce niveau, et les praticiens, renant pour surface de chauffe la surface totale des bouilleurs la moitié de celle de la chaudière, comptent ordinairement sur 5 à $1^{mc},30$ de surface de chauffe par force de cheval pour les mas à détente sans condensation de la force de 10 à 20 chevaux (336).

ans les locomotives, on admet que chaque mètre carré de la surde chauffe qui voit le foyer produit trois fois plus de vapeur in mètre carré de surface de tuyau, et que, en considérant ime surface de chauffe (*dite surface de chauffe réduite*), la surface voit le foyer, augmentée du 1/3 de la surface des tubes, chaque re carré produit de 120 à 160 kilog. de vapeur à l'heure (Voir la artie).

onnaissant la quantité de vapeur à produire, on détermine facient, d'après ce qui précède, la surface de chauffe nécessaire, et suite les dimensions de la chaudière.

orsque l'effet à produire exige deux chaudières, il convient d'en olir trois, afin que toujours une d'elles soit en réparation pendant les deux autres fonctionnent; par là, on évite les interruptions ravail.

TABLEAU des expériences de M. Cavé sur les chaudières avec ou sans

SURFACE de grille en décimèt. carrés.	SURFACE de chauffe en mètres carrés.	RAPPORT de la surface de chauffe à celle de la grille.	MODE d'alimentation.	HOUILLE brûlée par heure, en kilogrammes.		VAPEUR produite en kilogrammes.		NATU
				par décim. carré de surf. de grille.	par mètre carré de surf. de chauffe.	par heure et par m. c. de surf. de chauffe.	par 1l. de houille.	
1° Chaudière de 1 mètre de diamètre et 8 mètres de longueur, sans bouilleurs. fond, en contact avec la moitié du fond et de la partie latérale de la chaudière vant en contact avec l'autre moitié, pour s'en retourner à la cheminée par milieu duquel est le tube réchauffeur, de 0m.30 de diamètre, et de 6m.25 de								
165	12.50	7.6	eau froide.	0.24	3.16	24.60	7.79	
id.	id.	id.	id.	0.24	id.	27.65	8.72	
id.	id.	id.	id.	0.24	id.	24.50	7.75	
82	id.	15.2	id.	0.48	id.	24.50	7.75	
id.	id.	id.	id.	0.48	id.	23.80	7.55	
id.	id.	id.	id.	0.48	id.	24.40	7.71	
id.	id.	id.	id.	0.39	2.55	16.40	6.45	
id.	id.	id.	id.	0.70	4.60	28.80	6.30	Gaill
id.	id.	id.	tube réch.	0.48	3.16	24.70	7.80	
id.	id.	id.	id.	0.39	2.55	18.90	7.42	
id.	id.	id.	id.	0.48	3.16	24.00	7.60	
id.	id.	id.	id.	0.48	3.15	21.90	6,90	
id.	id.	id.	id.	0.53	3.56	23.30	6.55	
id.	id.	id.	id.	0.47	3.10	21.30	6.90	
id.	id.	id.	id.	0.46	3.06	21.30	6.90	
id.	id.	id.	id.	0.46	3.06	20.30	6.62	
id.	id.	id.	id.	0.46	3.02	20.70	6.85	
id.	id.	id.	id.	0.54	3.56	21.10	5.92	Tout
id.	id.	id.	id.	0.54	3.56	21.00	5.90	
66	id.	19.0	id.	0.60	3.16	22.80	7.20	Gross
id.	id.	id.	id.	0.56	2.96	24.75	8.35	Gaill.
id.	id.	id.	id.	0.60	3.16	21.10	6.62	Fin l
id.	id.	id.	id.	0.60	3.16	24.30	7.70	Gaill.
id.	id.	id.	id.	0.60	3.16	20.00	6.32	Gaill.
id.	id.	id.	id.	0.57	2.98	25.00	8.32	Gaill.
2° Même chaudière sans bouilleurs ni retour de fumée. La flamme va directem en léchant toute la surface de chauffe.								
82	12.50	15.2	eau froide.	0.73	4.80	27.20	5.68	
id.	id.	id.	id.	0.73	4.80	27.00	5.60	
id.	id.	id.	id.	0.81	5.30	27.30	5.20	
id.	id.	id.	id.	0.81	5.30	30.00	5.70	—
id.	id.	id.	id.	0.81	5.30	31.00	5.86	
165	id.	7.6	id.	0.44	5.80	34.80	6.00	Presq
id.	id.	id.	id.	0.44	5.80	35.60	6.17	
id.	id.	id.	id.	0.44	5.80	37.00	6.41	
id.	id.	id.	id.	0.44	5 80	37.00	6.41	
id.	id.	id.	id.	0.44	5.80	36.90	6.40	
3° Chaudière de 1m.00 de diamètre et de 8m.30 de longueur, à bouilleurs de 0 La flamme va au fond, en contact avec le fond de la chaudière et les 2/3 du leurs, revient au devant en contact à la fois avec le reste de la surface de ch tourne par le canal du tube réchauffeur.								
165	32.18	19.5	eau froide.	0.24	1.20	8.60	7.12	
id.	id.	id.	id.	0.24	1.20	9.10	7.59	
id.	id.	id.	id.	0.24	1.20	9.12	7.60	Gaill.
id.	id.	id.	tube réch.	0.24	1.20	8.30	6.90	
id.	id.	id.	id.	0.35	1.75	11.95	6.82	

SURFACE de chauffe en mètres carrés.	RAPPORT de la surface de chauffe à celle de la grille.	MODE d'alimentation.	HOUILLE brûlée par heure en kilogrammes.		VAPEUR produite en kilogrammes.		NATURE DU COMBUSTIBLE.
			par décim. carré de surf. de grille.	par mètre carré de surf. de chauffe.	par heure et par m. c. de surf. de chauffe.	par kil. de houille.	
dière de 0m.90 de diamètre et de 5m.88 de longueur, à deux bouilleurs de 0m.40 de diamètre, s retour de fumée. La flamme va directement à la cheminée en léchant à la fois tout le tour des bouilleurs et la moitié de celui de la chaudière.							
21.36	13.0	eau froide.	0.39	3.00	21.07	6.90	Mélange de Toutvenant, Saint-Étienne et Denain.
id.	id.	id.	0.39	3.00	21.07	6.90	
id.	id.	id.	0.35	2.74	19.99	7.30	
id.	26.0	id.	0.78	3.00	17.50	5.82	
id.	id.	id.	0.73	2.90	17.50	6.02	
id.	id.	id.	0.57	2.18	13.85	6.35	
id.	id.	id.	0.57	2.18	13.40	6.18	
id.	id.	id.	0.52	2.01	11.42	5.70	
id.	13.0	id.	0.44	3.40	20.50	6.02	
id.	id.	id.	0.44	3.40	20.40	6.00	
id.	id.	id.	0.44	3.40	22.10	6.50	
id.	id.	id.	0.44	3.40	21.80	6.40	
e chaudière à deux bouilleurs, avec retour simultané de flamme de chaque côté, et fuite à cheminée par le canal du tube réchauffeur.							
21.36	13.0	tube réch.	0.44	3.40	20.90	6.15	Toutvenant et Denain.
id.	id.	id.	id.	id.	21.40	6.30	
id.	id.	id.	id.	id.	22.80	6.72	Gaill. de Denain.
id.	id.	id.	id.	id.	23.00	6.78	
id.	id.	id.	id.	id.	20.50	6.02	Gaill. de Commentry.
id.	id.	id.	id.	id.	20.70	6.10	
id.	id.	id.	id.	id.	21.25	6.27	
id.	id.	id.	id.	id.	21.40	6.30	
id.	id.	id.	id.	id.	22.30	6.59	

'après ce tableau, la quantité moyenne de vapeur produite par tre carré de surface de chauffe totale et par heure est de 22k,25.

e tableau fait voir aussi que les chaudières à bouilleurs ne sont aussi avantageuses qu'on pouvait le supposer; c'est ce qui fait depuis quelque temps des constructeurs suppriment les bouilrs, et se contentent de mettre latéralement et parallèlement à la udière des tubes chauffés par la fumée, et dans lesquels l'eau cire avant de pénétrer dans la chaudière.

e faible rendement des chaudières à bouilleurs est dû à ce que la eur qui se forme dans les bouilleurs ne trouvant pas un écoulement ez facile par les cuissards, qui sont trop petits et en nombre insufnt, les bouilleurs, qui devraient former la partie la plus active de urface de chauffe, ne produisent que l'effet de tubes réchauffeurs. nfin, de l'examen de ce même tableau, il résulte que la quantité yenne d'eau vaporisée par kilogramme de houille a dépassé 8 kilog. s les deux circonstances suivantes :

1° Chaudière cylindrique sans bouilleur, à circulation dans deu
galeries et un conduit allant à la cheminée (21^m de circulation total
et 2 coudes), le rapport de la surface de chauffe à celle de la gril
étant 7,6, la surface de chauffe $12^m,5$, et la quantité totale de houill
brûlée, $39^k,5$, c'est-à-dire $0^k,24$ par décimètre carré de surface de grill

2° La chaudière précédente avec tube réchauffeur, dans les mêm
circonstances de circulation, le rapport de la surface de chauffe à cell
de la grille étant 19, et la quantité totale de houille brûlée étant 37ᵏ,
en moyenne.

Des expériences de M. Cavé, il paraît résulter que le rapport de la surface de chauffe à celle de la grille étant 17, et la surface de la grill un décimètre carré par $0^k,40$ de houille à brûler, on se trouve dans les conditions les plus favorables pour obtenir 8 kilog. de vapeur par kilog. de charbon; mais il convient de considérer $0^k,40$ comme étant une limite inférieure. Malgré l'avantage que ces expériences parais sent attribuer aux grandes grilles, la plupart des ingénieurs revien nent aux grilles brûlant de 1 à 1,2 kilog. de houille par décimètr carré (322).

Dans les chaudières de M. Farcot, les bouilleurs sont remplacés par 4 tubes placés parallèlement à la chaudière et à côté de celle-ci. L'ea s'échauffe en circulant successivement dans les tubes, en sens con traire de la fumée, avant de se rendre dans la chaudière, sur laquell se trouve l'unique prise de vapeur. Une chaudière de ce système, qu a valu à son auteur la moitié du prix de 10,000 francs proposé par l Société d'Encouragement, a produit les résultats suivants :

Durée de l'expérience.	$9^h,55^m$
Puissance au frein.	$30^{ch},75$
Diamètre du corps de la chaudière.	$1^m,00$
Id. de chacun des 4 bouilleurs.	$0^m,40$
Longueur de la chaudière et des bouilleurs.	$6^m,00$
Surface de chauffe totale.	$39^m,00$
Id. de grille.	$0^m,84$
Houille anglaise de roche brûlée, par force de cheval et par heure.	$1^k,32$
Eau totale dépensée par kilogramme de houille.	$7^k,425$
Id. par cheval et par heure.	$9^k,803$

328. *Vapeur produite par un kilog. de combustible.* La puissanc calorifique de la houille moyenne étant 8000 (314), admettant que l vaporisation d'un kilog. d'eau absorbe 650 unités de chaleur (288), u kilog. de houille devrait produire $12^k,31$ de vapeur. Mais, dans la pra tique, le charbon qui échappe à la combustion en tombant de l grille, le rayonnement perdu du foyer, le refroidissement des diff rentes parties du fourneau, et la chaleur que la fumée empor dans la cheminée, font que l'on est loin d'atteindre cette limite. Pou

haudières ordinaires bien établies, l'eau d'alimentation étant à faible température et la fumée se dégageant à 300°, un kilog. de ille ne produit que 6 à 7 kilog. de vapeur à la pression de 5 atsphères environ ; on va parfois au delà de 7 kilog. quand la pres- de la vapeur est faible et que l'on chauffe l'eau d'alimentation à certaine température ; enfin il arrive encore souvent que, par e de proportions peu convenables du foyer et du fourneau ou ne mauvaise conduite du feu, on n'obtient que 5 kilog. de vapeur kilog. de houille.

n peut admettre que la vapeur produite par les différents combibles est sensiblement proportionnelle à leurs puissances caloris: alors, en adoptant la quantité $6^k,50$ de vapeur pour un kilog iouille moyenne, on aura pour un kilog. de divers combustibles poids de vapeur produite du tableau suivant (302 et 314).

	kil.		kil.
sec.	3,25	Tourbe à 0,30 d'eau.	3,00
à 0,25 d'eau.	2,44	Charbon de tourbe à 0,20 de cendres.	5,20
bon de bois.	5,69	Houille moyenne.	6,50
de sèche.	2,76	Coke à 0,05 de cendres.	6,20
ée à 0,30 d'eau.	4,95	Coke à 0.15 de cendres.	5,52
be sèche à 0,05 de cendres. .	4,30		

29. *Emploi de la chaleur perdue des fours métallurgiques.* La cha- perdue dans ces fours se compose de celle provenant de ce que gaz peuvent ne pas être complétement brûlés, et de celle due à la pérature de ces gaz.

orsque les gaz sont complétement brûlés et à une haute tempéra-, comme dans tous les fourneaux à réverbère, les fours à puddler, ours à réchauffer, pour utiliser la chaleur perdue, il suffit de placer, lus près possible du four, afin de diminuer le refroidissement, une udière ordinaire à vapeur, sous laquelle on fait circuler les gaz.

uand les gaz ne sont pas complétement brûlés, comme dans les ts-fourneaux, les cubilots, les fours à coke, on commence par ler ces gaz en faisant arriver dans leur masse la quantité convele d'air divisé en lames minces ou en jets d'un petit diamètre. Les brûlant avec une longue flamme, on doit éviter dans ce cas les udières tubulaires, qui s'opposeraient à la combustion complète éteignant la flamme.

30. Les *gaz des hauts-fourneaux* peuvent être employés pour les rs à réchauffer, et on a même essayé de les utiliser pour les fours ddler; mais comme leur totalité trouve son emploi dans le chauf- à 300° de l'air envoyé aux tuyères et dans celui des chaudières machines soufflantes, les maîtres de forges trouvent en général il est avantageux de se borner à ces deux usages.

la partie supérieure du haut-fourneau, on dispose une trémie méique en forme de tronc de cône à bases ouvertes; c'est dans cette

trémie que l'on jette les chargements du haut-fourneau, et tout autour, dans l'espace qui la sépare de la cuve, que l'on a eu soin d'élargir en cet endroit, viennent se réunir les gaz. On a soin que la trémie contienne encore une certaine quantité de matière quand on fait une nouvelle charge. Dans certains cas, surtout pour les hauts-fourneaux d'un grand diamètre au gueulard, MM. Thomas et Laurens ont imaginé de fermer le dessus de la trémie à l'aide d'un couvercle dont les bords plongent dans une rigole remplie d'eau qui règne sur tout le pourtour du haut de la trémie. Ce couvercle se lève avec facilité pour faire les chargements.

Les chaudières se placent généralement aujourd'hui au niveau du sol de l'usine, et les gaz y sont amenés du gueulard par un tuyau vertical. Le tirage de la cheminée doit être faible, afin qu'il ne dérange pas l'allure du haut-fourneau. Les chaudières doivent contenir de grands volumes d'eau et de vapeur, pour obvier aux irrégularités de production et de combustion des gaz.

Quelquefois les gaz arrivent simplement dans la chaudière par une large fente horizontale ou par un tuyau aplati à son extrémité, et l'air extérieur vient librement en dessous brûler la nappe de gaz; mais par de bonnes dispositions de foyers, on peut, en outre du chauffage de l'air et de la chaudière à vapeur, avoir un excès de gaz pour chauffer les étuves, griller les minerais, dessécher le bois, etc.

Quand la température doit être seulement suffisante pour le chauffage des chaudières à vapeur et de l'air d'alimentation des hauts-fourneaux, MM. Thomas et Laurens font arriver les gaz, seulement poussés par la pression intérieure du haut-fourneau, dans une caisse placée dans la voûte recouvrant l'espace qu'occuperait la grille dans les foyers ordinaires, et de cette caisse les gaz s'échappent en lames minces plus ou moins inclinées, entre lesquelles l'air extérieur arrive également en lames minces de même direction que les premières. On a ainsi un foyer à flamme renversée, disposition toujours avantageuse quand la nature du combustible la rend possible.

Pour les foyers à haute température, comme lorsqu'il s'agit du chauffage des fours métallurgiques, MM. Thomas et Laurens font arriver les gaz dans une caisse en fonte dont la paroi en contact avec le foyer est légèrement inclinée avec la verticale, et percée d'un grand nombre de trous par lesquels les gaz entrent dans le foyer en jets légèrement plongeants. L'air arrive dans une caisse en fonte placée derrière la première, et se rend dans le foyer par des petits tubes en fer qui traversent la caisse à gaz et le lancent en jets intérieurs et concentriques aux jets de gaz. L'air est fourni par une machine soufflante, et se trouve à la pression de 0m,15 à 0m,20 d'eau; la pression des gaz est de 0m,03 à 0m,06 d'eau. L'air, en traversant des tubes en fonte chauffés par la chaleur perdue du four, est amené à la température de 300 à

les gaz sont également chauffés à la température de 200 à 300°.
ns les foyers à gaz, près de l'arrivée des gaz sous la chaudière, ispose un petit foyer destiné à les allumer et à entretenir leur bustion. Avant l'allumage et après chaque interruption de chauf-, on a soin de faire écouler les gaz par un tuyau latéral, afin d'é-r les explosions dans les carneaux. Il est aussi très-prudent de ir l'extrémité du tuyau d'accès des gaz de larges soupapes de sû-se soulevant en dehors, ou mieux de soupapes à eau disposées s les caisses servant au nettoyage des gaz.

s analyses de M. Ebelmen, il résulte que les gaz sortant du gueu-des hauts-fourneaux de Clerval et d'Audincourt, marchant au bon de bois, sont composés, en poids, de 0,1835 d'acide carboni-, 0,2224 d'oxyde de carbone, 0,0041 d'hydrogène, et 0,5730 d'azote.
a puissance calorifique de ces gaz est alors (314)

$$2403 \times 0,2224 + 29512 \times 0,0041 = 655,43.$$

a chaleur nécessaire pour élever de 1° le gaz résultant de com-stion est (286)

ur l'acide carbonique du gaz avant la combustion. .	$0,1835 \times 0,216 = 0,0396$
ur l'azote du gaz avant la combustion.	$0,5730 \times 0,244 = 0,1398$
ur l'acide carbonique formé à la combustion. . . .	$0,3494 \times 0,216 = 0,0754$
ur la vapeur d'eau.	$0,0360 \times 0,475 = 0,0171$
ur l'azote introduit par l'air.	$0,4256 \times 0,244 = 0,1048$
Pour la totalité du gaz.	0,3767

a température des gaz après la combustion est donc, en suppo-t qu'il n'y a aucune déperdition de chaleur, et que la combustion fectue avec la quantité d'air rigoureusement nécessaire,

$$\frac{655,43}{0,3767} = 1740°.$$

Pour les gaz d'un haut-fourneau au coke, on obtiendrait à peu près mêmes résultats. D'après les analyses de M. Ebelmen, les gaz d'un ut-fourneau de Vienne, au coke et de 11^m de hauteur, contiennent 7, 0,33, 0,32 et 0,25 d'oxyde de carbone, selon qu'ils sont pris à ,62 au-dessus des tuyères, à 4^m,36 au-dessus de ces tuyères, à 1^m au-ssous du gueulard et au gueulard.

La température des gaz au gueulard varie de 100° à 200° ou de 360° 400°, selon que le haut-fourneau marche au charbon de bois ou au ke. Ces températures augmentent rapidement du gueulard aux yères.

D'après MM. Thomas et Laurens, une machine à vapeur à détente condensation, de la force de 18 chevaux, dont la chaudière était auffée par le gaz d'un haut-fourneau au charbon de bois, a donné bons résultats, la section de la cheminée et des carneaux étant de

28 décimètres carrés, la hauteur de la cheminée 8 mètres, et la surface de chauffe calculée sur une production de 15 à 17 kilog. de vapeur par mètre carré.

Le haut-fourneau de Niederbronn, rapporte M. Grouvelle, fournit par l'emploi de ses gaz, la vapeur à une machine de Woolf de 12 à 15 chevaux, qui conduit une soufflerie, et d'après des expériences faites dans le but de déterminer la quantité de chaleur utilisée à produire de la vapeur, qui est à 2,5 atmosphères, les 200 kilog. de charbon de bois brûlés par heure ont donné au moins 284700 calories en vapeur produite, c'est-à-dire un effet utile de 20 p. 100 et une puissance de 20 chevaux.

331. *Gaz d'un cubilot.* D'après les analyses de M. Ebelmen, les gaz recueillis au gueulard d'un cubilot de 3^m de hauteur, marchant au coke, renferment 0,09 à 0,14 d'oxyde de carbone, 0,09 à 0,19 d'hydrogène carboné, 0,0038 à 0,0115 d'hydrogène, 0,71 à 0,75 d'azote. Adoptant les moyennes de ces nombres, on trouve que la puissance calorifique des gaz est à peu près les 2/3 de la puissance calorifique du combustible employé. Jusqu'à présent, on n'a pas cherché à utiliser cette chaleur perdue.

332. Dans un *four à coke*, par suite de la température des gaz sortant du four, et de ce que le tiers environ de ces gaz n'est pas brûlé, on peut estimer que la perte totale de chaleur est les 0,40 de la chaleur que la houille soumise à la carbonisation est susceptible de produire. Ainsi, en plaçant la chaudière très-près du four pour éviter le refroidissement des gaz, et en terminant de brûler ces gaz en faisant arriver dans leur masse une quantité convenable d'air divisé en jets, la puissance de la chaudière, ses dimensions et celles de la cheminée sont les mêmes que si l'on brûlait sur une grille les 0,40 de la houille soumise à la distillation.

Le tirage de la cheminée ne doit pas être assez grand pour changer en rien l'allure des fours; car le coke se brûlerait en partie, il deviendrait léger et perdrait une de ses qualités essentielles. Par de bonnes dispositions, on peut régler convenablement l'arrivée de l'air et le tirage; cependant on n'y est pas toujours parvenu.

333. *Fours à puddler et à réchauffer* (329). Un four à puddler consomme moyennement 85 kil. de houille à l'heure, et un four à réchauffer de 100 à 110 kilog. La section de la cheminée de ces fours est ordinairement d'un décimètre carré pour une consommation de 4^k à 4^k,5 de houille à l'heure (317), et la section de la grille, de 4 décimètres carrés pour la même consommation (322).

Quand un four à puddler ou à réchauffer est muni d'une chaudière à vapeur, il faut, d'après M. Grouvelle, que la section de la cheminée et des carneaux soit d'un décimètre carré pour une consommation de 3 kil. à 3^k,30 de houille à l'heure. Des expériences faites par M. Lucas

mpionnière tendent à prouver qu'il y aurait utilité à augmenter peu cette section : ainsi elles ont fait voir qu'au-dessus de 3 kil. décimètre carré, le tirage et le travail souffraient toujours ; aussi on porté la section à un décimètre carré pour $2^k,7$ de houille.

a hauteur de la cheminée varie de 12 à 15 mètres, même quand a une chaudière.

our les fours à réchauffer, il convient également d'adopter les protions précédentes, en ayant égard à la plus grande consommation charbon.

a surface de chauffe peut être la même que si le charbon était lé directement sous la chaudière. Il résulte aussi, d'après M. Groue, que la production des chaudières placées à la suite des fours à hauffer est de 4 à 5 kilog. de vapeur à 5 atmosphères, par kilommes de houille brûlée, et que celle des chaudières placées à la te des fours à puddler est de 3^k à $3^k,5$ seulement; mais, d'après utres renseignements, dit M. Péclet, il paraîtrait que ces dernières oduisent de 4 à 5 kilog. de vapeur par kilogramme de houille, et e chaque mètre carré de surface de chauffe fournit de 16 à 18 kilog. vapeur à l'heure.

n peut compter, ajoute M. Grouvelle, qu'un four à réchauffer consmant 110 kilog. de houille produit environ 520 kilog. de vapeur heure, et qu'un four à puddler en produit à peu près 300 kilog. ur 90 kilog. de houille brûlés sur la grille; ce qui correspond à force de 25 chevaux pour le premier four et de 15 pour le second, en admettant que la machine soit à détente sans condensation onsomme 20 kilog. de vapeur par cheval. Pour une machine à détente et condensation consommant 15 kilog. de vapeur environ par eval, la puissance est de 30 à 35 chevaux pour le four à réchauffer de 20 chevaux pour le four à puddler. Cet auteur admet de plus e deux fours à réchauffer, travaillant en échantillons différents onnent de la vapeur en quantité largement suffisante pour leur trail au laminoir, et que le four à puddler suffit également au travail cinglage, soit au marteau, soit au laminoir.

D'après MM. Thomas et Laurens, sur un feu d'affinerie marchant au arbon de bois, et produisant de 22 à 24 tonnes de fer par mois, on ut placer une chaudière à vapeur ayant 16 mètres carrés de surce de chauffe, et produire de 150 à 180 kilog. de vapeur à l'heure, ême en plaçant entre le four à affiner et la chaudière un petit four stiné à commencer le chauffage de la fonte à affiner, ou à chauffer fer à étirer.

534. *Épaisseur théorique des chaudières à vapeur.* L'effort qui tend rompre une chaudière à vapeur suivant une génératrice, par milnètre de longueur, est exprimé par $\frac{pD}{2}$, et on a

$$\frac{pD}{2} = eR \quad \text{d'où} \quad e = \frac{pD}{2R}.$$

p pression de la vapeur en kilog., sur un millimètre carré de surface de chaudière (p est la différence des pressions à l'intérieur et à l'extérieur de la chaudière);
D diamètre de la chaudière en millimètres;
e épaisseur de la chaudière en millimètres;
R résistance à la traction du métal qui compose la chaudière, par millimètre carré de section (page 277).

Cette formule est la même que celle posée au n° 190 pour les tuyaux de conduite des eaux; seulement la hauteur h en mètres d'eau est exprimée en kilogrammes sur un millimètre carré de surface, ce qui donne $p = \frac{h \times 10}{10\,000} = \frac{h}{1000}$; le diamètre de la chaudière D est exprimé en millimètres au lieu de l'être en mètres, ce qui revient à multiplier par 1000 la valeur de D du n° 190.

L'effort qui tend à rompre une chaudière suivant un grand cercle des demi-sphères qui la terminent est $\frac{pD}{4}$, et on a

$$\frac{pD}{4} = eR, \quad \text{d'où} \quad e = \frac{pD}{4R}.$$

335. *Ordonnances des 22 et 23 mai 1843 relatives aux appareils à vapeur.* Ces ordonnances sont relatives à la *fabrication des chaudières à vapeur et à leur établissement*, c'est-à-dire à leur autorisation, aux épreuves qu'elles doivent subir, à leur épaisseur, à leurs appareils de sûreté (soupapes, manomètres, appareils d'alimentation, indicateurs de niveau), à leur emplacement, et à la surveillance administrative des machines à vapeur. Ces ordonnances comprennent en outre les dispositions relatives à l'établissement des machines employées dans l'intérieur des mines, et celles concernant l'emploi des machines à vapeur locomobiles et locomotives (quatrième partie).

Ce qui va suivre sur les chaudières à vapeur est extrait en grande partie de ces ordonnances.

336. *Épaisseur pratique à donner aux chaudières à vapeur en tôle et en cuivre.* Cette épaisseur se détermine à l'aide de la formule

$$e = 1{,}8d(n-1) + 3, \qquad \text{d'où} \qquad n = 1 + \frac{e-3}{1{,}8d}.$$

e épaisseur de la chaudière en millimètres;
d diamètre de la chaudière en mètres;
n tension absolue de la vapeur dans la chaudière, ou n° du timbre; la pression effective en atmosphères est $n-1$. Les n^{os} des timbres ne croissent que par quart d'atmosphère.

De la formule précédente on conclut les épaisseurs e à donner aux chaudières cylindriques en tôle ou en cuivre laminé, consignées dans le tableau suivant.

DIAMÈTRES des chaudières.	NUMÉROS DES TIMBRES exprimant les tensions absolues de la vapeur dans la chaudière.						
	2 atmosph.	3 atmosph.	4 atmosph.	5 atmosph.	6 atmosph.	7 atmosph.	8 atmosph.
mèt.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
0.50	3.90	4.80	5.70	6.60	7.50	8.40	9.30
0.55	3 99	4.98	5.97	6.96	7.95	8.94	9.93
0.60	4.08	5.16	6.24	7.32	8.40	9.48	10.56
0.65	4.17	5.34	6.51	7.68	8.85	10.02	11.19
0.70	4.26	5.52	6.78	8.04	9.30	10.56	11.82
0.75	4.35	5.70	7.05	8.40	9.75	11.10	12.45
0.80	4.44	5.88	7.32	8.76	10.20	11.64	13.08
0.85	4.53	6.06	7.59	9.12	10.65	12.18	13.71
0.90	4.62	6.24	7.86	9.48	11.10	12.72	14.34
0.95	4.71	6.42	8.13	9.84	11.55	13.26	14.97
1.00	4.80	6.60	8.40	10.20	12.00	13.80	15.60
1.05	4 89	6.78	8.67	10.56	12.45	14.34	16.23
1.10	4.98	6.96	8.94	10.92	12.90	14.88	16.86
1.15	5.07	7.14	9.21	11.28	13.25	15.42	17.49
1.20	5.16	7.32	9.48	11.64	13.80	15.96	18.12

L'épaisseur de la tôle ou du cuivre laminé ne doit d'ailleurs jamais dépasser 15 millimètres; si, en raison du diamètre projeté de la chaudière et de la tension de la vapeur, une épaisseur plus forte était nécessaire, le fabricant devrait substituer à une chaudière unique plusieurs chaudières séparées, de diamètres plus petits.

Les épaisseurs de la tôle doivent être augmentées s'il s'agit de chaudières formées, en partie ou en totalité, de faces planes, ou bien de conduits intérieurs, cylindriques ou autres, traversant l'eau ou la vapeur, et servant soit de foyers, soit à la circulation de la flamme. Ces chaudières et conduits doivent, de plus, être, suivant le cas, renforcés par des armatures suffisantes.

L'ordonnance n'assigne pas non plus de règle pour l'épaisseur des chaudières en fonte; mais, d'après l'instruction annexée aux ordonnances (335), on doit considérer comme suspecte, toute chaudière en fonte de forme cylindrique dont l'épaisseur ne serait pas égale à 3 fois l'épaisseur prescrite pour la même chaudière en tôle ou en cuivre laminé.

Comme dans le commerce on ne trouve pas des tôles de toutes les épaisseurs, les constructeurs de chaudières ne font usage que de tôles d'un certain nombre d'épaisseurs, mais qui doivent toujours être supérieures à celles que prescrivent les ordonnances.

TABLEAU des dimensions des chaudières adoptées dans un des principaux établissements de Paris. La saillie *s* est celle des bouilleurs en avant du corps de la chaudière.

	FORCE en chevaux	CHAUDIÈRES.		BOUILLEURS.			ÉPAISSEUR DES TÔLES.					
							4 atmosph.		5 atmosph.		6 atmosph.	
		Diamètre.	Longueur.	Diamètre.	Longueur.	Saillie *s*.	Chaud.	Bouill.	Chaud.	Bouill.	Chaud.	Bouill.
		m	m	m	m	m	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.
	1	0.55	2.35	»	»	»	7.5	»	8.5	»	9.5	»
1 bouilleur.	2	0.50	1.75	0.40	1.95	0.45	6	6.5	6.5	7.5	7.5	8
	3	0.50	2.65	0.40	2.85	0.45	6	6.5	6.5	7.5	7.5	8
	4	0.60	2.60	0.50	2.75	0.45	6.5	7	7.5	8	8.5	9
	6	0.70	3.50	0.50	3.65	0.50	7	7	8	8	9.5	9
	8	0.70	4.40	0.50	4.55	0.50	7	7	8	8	9.5	9
	10	0.80	4.70	0.60	4.86	0.56	7.5	8	9	9	10	10
	12	0.80	5.60	0.60	5.76	0.56	7.5	8	9	9	10	10
	15	0.80	6.00	0.50	4.90	0.80	7.5	7	9	8	10	9
2 bouilleurs.	20	0.80	6.00	0.50	6.53	0.93	7.5	7	9	8	10	9
	30	1.00	7.45	0.55	7.88	0.93	8.5	7.5	10	8.5	12	9.5
	35	1.00	8.75	0.55	9.18	0.93	8.5	7.5	10	8.5	12	9.5
	40	1.23	8.50	0.60	8.885	1.00	9.5	8	12	9	14	10
	45	1.23	9.60	0.60	9.985	1.00	9.5	8	12	9	14	10
	50	1.23	10.25	0.60	10.685	1.05	9.5	8	12	9	14	10

De ce tableau il résulte que la surface de chauffe par cheval est environ 2^{mc} pour les très-petites machines, 1^{mc},50 pour celles de 10 chevaux, 1^{mc},40 pour celles de 20, et 1^{mc},20 pour celles de 50 (327).

Afin de faciliter le passage de la fumée du carneau inférieur dans celui supérieur, l'extrémité postérieure de la chaudière dépasse de 0^m,25 à 0^m,35 celle des bouilleurs.

Une circulaire ministérielle adressée aux préfets, en date du 22 mars 1853, prohibe à l'avenir l'usage des calottes en fonte pour former l'extrémité des bouilleurs qui est en contact avec la flamme ou les gaz provenant de la combustion. L'emploi de la fonte ne peut être permis que pour la fermeture autoclave de l'extrémité extérieure et apparente des bouilleurs et pour les tubulures qui réunissent les bouilleurs au corps des chaudières.

337. ***Épreuves des chaudières à vapeur.*** Aucune chaudière à vapeur ne peut être mise en activité dans un établissement quelconque, sans avoir été préalablement essayée, à l'aide d'une pompe foulante à eau, à une pression triple de la pression effective $n - 1$ (nº 336), pour les chaudières, tubes bouilleurs et réservoirs en tôle ou en cuivre laminé, et quintuple pour les chaudières ou tubes bouilleurs en fonte.

Les cylindres en fonte des machines à vapeur et les enveloppes en

de ces cylindres sont éprouvés à une pression triple de la pres- effective.

chaudières qui ont des faces planes sont dispensées de l'épreuve, sous la condition que la force élastique ou la tension de la va- ne devra pas s'élever, dans l'intérieur de ces chaudières, à plus ne atmosphère et demie.

ucune machine ou chaudière à vapeur ne peut être livrée par un ricant, si elle n'a été soumise aux épreuves précédentes; ces euves sont faites à la fabrique, sur la déclaration des fabricants et rès les ordres des préfets, par les ingénieurs des mines, ou, à leur ut, par les ingénieurs des ponts et chaussées. L'épreuve est re- mencée sur l'établissement dans lequel les machines ou chau- es doivent être employées : 1° si le propriétaire la réclame; 2° s'il eu, pendant le transport ou lors de la mise en place, des avaries ables; 3° si des modifications ou opérations quelconques ont été tes depuis l'épreuve opérée à la fabrique.

Les chaudières ou machines à vapeur venant de l'étranger doivent e pourvues des mêmes appareils de sûreté que les machines ou udières d'origine française, et subir les mêmes épreuves. Ces euves sont faites au lieu désigné par le destinataire, dans la dé- ation qu'il doit faire à l'importation.

ne circulaire aux préfets, en date du 6 janvier 1852, porte ce qui t :

Il peut y avoir des cas où l'épreuve faite seulement à la pression ble soit suffisante : par exemple pour les chaudières à double d, dans lesquelles l'espace occupé par la vapeur est très-petit, et sque, d'ailleurs, ces chaudières sont bien établies et qu'il est re- nu qu'eu égard à leur disposition, une déchirure du métal, si elle ait lieu, n'aurait que des conséquences peu graves.

« Mais cette épreuve à la pression double ne doit être qu'une excep- n. En thèse générale, tout récipient où la vapeur ne s'échappe pas rement dans l'atmosphère doit être éprouvé à la pression triple : s sont les cylindres sécheurs, les retours d'eau et une foule d'au- s récipients où la vapeur n'est pas à échappement parfaitement re. »

L'ordonnance n'assigne pas de limite d'épaisseur pour les parois anes des chaudières, dans lesquelles la pression intérieure de la peur doit dépasser une atmosphère et demie, ou pour les conduits térieurs de forme cylindrique qui servent à la circulation de la mme, et qui sont pressés par la vapeur de dehors en dedans (336). circulaire aux préfets, en date du 23 mars 1853, laisse à l'ingé- eur chargé de la réception le soin d'apprécier dans chaque cas si s épaisseurs des parois et les armatures sont suffisantes; il doit mmencer par examiner la chaudière dans toutes ses parties, et

ne procéder à l'épreuve que s'il juge qu'elle présente une solidité suffisante. Dans le cas contraire, il en réfère au préfet, en lui adressant un rapport détaillé accompagné d'un dessin de la chaudière et des armatures; le préfet demande des instructions au ministre des travaux publics. Il en est de même pour une chaudière en fonte qui paraît à l'ingénieur avoir une épaisseur trop faible pour résister à la pression d'épreuve (336); le rapport au préfet indique la forme et les dimensions de la chaudière, la tension pour laquelle l'épreuve est réclamée, ainsi que l'origine et la qualité de la fonte.

Pour les cylindres, les enveloppes de cylindres, les réservoirs de vapeur qui ne font pas partie de la chaudière, et, en général, pour toutes les pièces qui reçoivent la vapeur sans être exposées à l'action du foyer et qui ne doivent pas être pourvues de soupape de sûreté, la soupape d'épreuve est appliquée sur la pompe de pression 340.

Quant aux chaudières, on procède à leur épreuve en chargeant leurs soupapes de poids convenables. Lorsqu'une chaudière est pourvue de deux soupapes, il convient de caler l'une d'elles pendant l'épreuve, de manière qu'elle ne puisse pas se soulever, et de charger l'autre.

Il est à désirer que les chaudières composées de plusieurs parties distinctes, comme les chaudières à bouilleurs, soient essayées toutes les parties assemblées; mais il n'y a pas lieu d'exiger que l'épreuve soit toujours faite de cette manière à la fabrique, parce que les chaudières qui doivent être placées dans des établissements éloignés sont généralement séparées en plusieurs parties, pour rendre leur transport plus facile, et ne sont montées et définitivement assemblées qu'après l'arrivée à destination.

Ainsi le fabricant peut présenter à l'épreuve la chaudière en pièces séparées. Le corps de la chaudière est alors essayé en chargeant la soupape adaptée à la chaudière même; pour les bouilleurs, on se sert comme soupape d'épreuve de celle qui est adaptée à la pompe de pression; dans ce cas, les tuyaux qui mettent la pompe en communication avec la pièce à essayer doivent être libres d'obstructions.

Le poids déterminé pour chaque cas étant suspendu au levier de la soupape d'épreuve, on foule l'eau avec célérité dans la pièce à éprouver, jusqu'à ce que la soupape se soulève. L'épreuve n'est regardée comme concluante et comme terminée que quand l'eau jaillit en nappe mince et à peu près continue sur le pourtour entier de l'orifice de la soupape; car si celle-ci était mal ajustée, il pourrait s'échapper des filets d'eau sur quelques points du contour, bien avant que la pression d'épreuve eût été atteinte.

Pendant la durée de l'épreuve, l'ingénieur examine avec soin si la pièce éprouvée n'a pas de fuites, et si ses parois ne se sont pas déformées par la pression. Quelques légers suintements entre les feuilles

ile d'une chaudière ou même à travers les pores du métal d'une idière ou d'un cylindre, ne sont point un motif suffisant pour irder la pièce éprouvée comme défectueuse. Ces suintements, se manifestent assez fréquemment, avant même que la pression rieure ait atteint la limite fixée par la charge des soupapes, peu-t être arrêtés par quelques coups de marteau. Des fissures dans métal, par lesquelles aurait lieu une suite un peu forte, une dé-nation sensible qui ne disparaîtrait pas aussitôt que l'épreuve est uinée, sont les signes auxquels on reconnaît une pièce défec-ise. C'est principalement aux déformations de la pièce éprouvée l'on doit faire attention dans l'épreuve des chaudières qui sont irois planes, ou concaves extérieurement, ou qui contiennent des aux cylindriques pour la circulation de la flamme.

Juand la pièce a convenablement supporté l'épreuve, l'ingénieur t frapper devant lui, d'un timbre portant l'empreinte fixée par dministration, une plaque ou médaille en cuivre, sur laquelle est ivé le nombre d'atmosphères mesurant la pression intérieure de rapeur, et qui a été fixée d'avance à la pièce éprouvée au moyen ris en cuivre. L'empreinte est apposée sur la tête des vis arrasées alablement à fleur de la plaque. Elle s'étend en partie sur le métal cette plaque.

l est possible qu'une chaudière qui a bien résisté à la pression sente cependant, en raison de sa forme et du mode de jonction ses parties, des vices de construction qui peuvent devenir des ses de danger. A cet égard, une chaudière est surtout défec-use :

° Lorsqu'il n'est pas possible de la nettoyer complétement des liments vaseux ou incrustants que les eaux, même réputées les us pures, abandonnent dans son intérieur en se vaporisant;

2° Lorsque les communications existant entre les bouilleurs, ou rties de la chaudière qui sont exposées le plus directement à l'ac-n du feu, et l'espace occupé par la vapeur, sont trop étroites ou n disposées pour que la vapeur formée dans l'intérieur des bouil-urs puisse s'en dégager facilement pour arriver dans le réservoir e vapeur;

3° Lorsque les joints des tubulures qui mettent en communication es diverses parties de la chaudière ne présentent pas une solidité uffisante, ou lorsque cette solidité peut être détruite accidentel-ment.

Ainsi, par exemple, le mastic de fer dont on se sert quelquefois our garnir les joints des tubulures de communication entre les bouilleurs et la chaudière, quoiqu'il puisse résister à la pression l'épreuve, ne doit pas être regardé comme établissant entre les deux pièces réunies une jonction suffisamment solide pour résister indé-

finiment à la pression de la vapeur. Ce mastic a d'abord l'inconvénient d'attaquer le fer sur lequel il est appliqué; c'est pourquoi on ne doit en faire usage que pour des tubulures épaisses en fonte de fer, et non pour des tubulures en tôle. Il est, en outre, cassant, et son adhérence, qui est fort énergique, peut être détruite accidentellement par le déplacement de la chaudière ou par un choc. Il est donc indispensable, quand on s'en sert, que les pièces assemblées soient, en outre, réunis par des armatures en fer suffisamment fortes pour prévenir à elles seules la disjonction dans le cas même où l'adhérence due au mastic serait entièrement détruite.

Malgré les vices de construction que l'ingénieur peut remarquer, il fait timbrer les chaudières qui ont résisté à l'épreuve; mais il a soin de signaler ces vices dans le procès-verbal.

338. *Autorisation pour l'établissement des machines à vapeur et des chaudières à vapeur.* Les machines à vapeur et les chaudières à vapeur, tant à haute qu'à basse pression, qui sont employées à demeure partout ailleurs que dans les mines, ne peuvent être établies qu'en vertu d'une autorisation délivrée par le préfet du département, conformément à ce qui est prescrit par le décret du 15 octobre 1810 pour les établissements insalubres et incommodes de 2e classe. (Voyez ce décret à la fin de la 2e partie.)

La demande en autorisation est adressée au préfet. Elle fait connaître :

1° La pression maximum de la vapeur, exprimée en atmosphères et en fractions décimales d'atmosphère, sous laquelle les machines à vapeur ou les chaudières à vapeur doivent fonctionner;

2° La force de ces machines, exprimée en chevaux (36);

3° La forme des chaudières, leur capacité et celle de leurs tubes bouilleurs, exprimées en mètres cubes;

4° Le lieu et l'emplacement où elles doivent être établies, et la distance où elles se trouveront des bâtiments appartenant à des tiers et de la voie publique;

5° La nature du combustible que l'on emploiera;

6° Enfin le genre d'industrie auquel les machines ou les chaudières devront servir.

Un plan des localités et le dessin géométrique de la chaudière sont joints à la demande.

Le préfet renvoie immédiatement la demande en autorisation, avec les plans, au sous-préfet de l'arrondissement, pour être transmise au maire de la commune, qui procède immédiatement à des informations *de commodo et incommodo*; la durée de cette enquête est de dix jours; cinq jours après qu'elle est terminée, le maire adresse le procès-verbal de l'enquête, avec son avis, au sous-préfet, lequel, dans un semblable délai, transmet le tout au préfet, en y joignant égale-

son avis. Dans le délai de quinze jours, le préfet, après avoir avis de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, de l'ingénieur nts et chaussées, statue sur la demande en autorisation.

recours au conseil d'État est ouvert au demandeur contre la dé- du préfet qui aurait refusé d'autoriser l'établissement d'une ine ou chaudière à vapeur.

). *Soupapes de sûreté.* Il est adapté à la partie supérieure de ie chaudière deux soupapes de sûreté, une vers chaque extré- de la chaudière (324). Chaque soupape est chargée d'un poids ie agissant, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un levier. ue poids reçoit l'empreinte d'un poinçon. Dans le cas où il est usage de leviers, ils doivent également être poinçonnés. La ité des poids et la longueur des leviers sont fixés par l'arrêté d'au- sation du préfet.

charge maximum de chaque soupape de sûreté est déterminée multipliant 1k,033 par le nombre d'atmosphères mesurant la pres- effective (336), et le produit obtenu par le nombre de centimètres és mesurant l'orifice de la soupape.

largeur de la surface annulaire de recouvrement ne doit pas sser la trentième partie du diamètre de la surface circulaire sée directement à la pression de la vapeur, et cette largeur, dans un cas, ne doit excéder deux millimètres.

diamètre de la partie exposée directement à la vapeur étant, en mètres,

25   30   35   40   45   50   55   60 et au-dessus,

rgeur maximum en millimètres de la surface annulaire de con- est respectivement

0,83   1,00   1,17   1,32   1,50   1,67   1,83   2,00.

diamètre des soupapes de sûreté est donné par la formule

$$d = 2,6\sqrt{\frac{s}{n - 0,412}}. \qquad a)$$

diamètre de la soupape en centimètres;
surface de chauffe de la chaudière, y compris les parties de parois situées dans les carneaux ou conduits de la flamme et de la fumée, exprimée en mètres carrés (327);
numero du timbre (336).

la *formule précédente on conclut, pour les diamètres des sou-*, les résultats du tableau suivant :

29

SURF. DE CHAUFFE des chaudières.	NUMÉROS DES TIMBRES indiquant les tensions absolues de la vapeur dans les ch							
	1 ½ atmos.	2 atmos.	2 ½ atmos.	3 atmos.	3 ½ atmos.	4 atmos.	4 ½ atmos.	5 atm
m. car.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent
1	2.493	2.063	1.799	1.616	1.479	1.372	1.286	1.2
2	3.525	2.918	2.544	2.286	2.092	1.941	1.816	1.7
3	4.317	3.573	3.116	2.799	2.563	2.377	2.227	2.1
4	4.985	4.126	3.598	3.232	2.959	2.745	2.572	2.4
5	5.574	4 613	4.023	3.614	3.308	3.069	2.875	2.7
6	6.106	5.054	4.407	3.958	3.624	3.362	3.149	2.9
7	6.595	5.458	4.760	4.276	3.914	3.631	3.402	3.2
8	7.050	5.835	5.089	4.571	4.185	3.882	3.637	3.4
9	7.478	6.189	5.398	4.848	4.438	4.117	3.857	3.6
10	7.882	6.524	5.690	5.110	4.679	4.340	4.066	3.8
11	8.267	6.843	5.967	5.360	4.907	4.552	4.265	4.0
12	8.635	7.117	6.233	5.598	5.125	4.754	4.454	4.2
13	8.987	7.430	6.487	5.827	5.334	4.949	4.636	4.3
14	9.325	7.720	6.732	6.047	5.536	5.138	4.811	4.5
15	9.654	7.990	6.968	6.259	5.730	5.316	4.980	4.7
16	9.970	8.253	7.197	6.464	5.918	5.490	5.143	4.8
17	10.277	8.506	7.418	6.663	6.100	5.659	5.302	5.0
18	10.575	8.753	7.633	6.844	6.277	5.823	5.455	5.1
19	10.865	8.993	7.842	7.044	6.449	5.982	5.605	5.2
20	11.147	9.227	8.046	7.227	6.616	6.138	5.750	5.4
21	11.423	9.454	8.245	7.380	6.780	6.289	5.892	5.5
22	11.691	9.677	8.439	7.580	6.939	6.437	6.034	5.6
23	11.954	9.894	8.629	7.750	7.095	6.582	6.167	5.8
24	12.211	10.107	8.814	7.917	7.248	6.723	6.299	5.8
25	12.463	10.316	8.996	8.080	7.397	6.862	6.429	6.0
26	12.710	10.520	9.174	8.240	7.544	6.998	6.556	6.1
27	12.952	10.720	9.349	8.397	7.776	7.132	6.681	6.3
28	13.190	10.917	9.520	8.551	7.828	7.262	6.804	6.4
29	13.423	11.110	9.689	8.703	7.967	7.391	6.924	6.5
30	13.633	11.300	9.855	8.851	8.103	7.517	7.043	6.6

L'expérience a fait voir qu'une seule soupape, dont l'
diamètre déterminé par la formule empyrique précé
pour débiter toute la vapeur qui pourrait se former dan
à la tension de *n* atmosphères, sous l'influence du feu
Ainsi, quand une chaudière sera munie de deux soup
dimensions prescrites et fonctionnant bien, on n'aura p
que la tension de la vapeur dépasse la limite assignée,
le cas où l'eau, par suite d'un défaut d'alimentation,
atteindre des parois rouges.

« Une circulaire du ministre aux préfets, en date du
prescrit de placer les soupapes des cylindres sécheurs,
tuyaux d'amenée de la vapeur, mais bien sur des renf
servoirs intermédiaires pratiqués à cet effet près des em
qui conduisent la vapeur aux cylindres, et ayant une ca

au moins. Le diamètre des soupapes des cylindres sécheurs se
ale à l'aide de la formule précédente (a), dans laquelle s repré-
e la surface de chauffe du générateur, n la pression absolue en
osphères, que la vapeur ne doit pas dépasser dans les cylindres,
le diamètre de la soupape en centimètres.

Il est cependant de certains cas où l'on peut s'écarter de cette
le, celui, par exemple, où il est bien démontré, d'après la disposi-
de l'ensemble de l'appareil, que la vapeur débitée par la chaudière
pourra se rendre qu'en partie dans les cylindres sécheurs. »

es ordonnances (335) dispensent de munir les chaudières à vapeur
plaques fusibles, ce qui était exigé avant leur promulgation.

40. *Manomètres.* Toute chaudière à vapeur doit être munie d'un
nomètre à mercure, gradué en atmosphères et en fractions déci-
les d'atmosphères, de manière à faire connaître immédiatement la
ssion de la vapeur dans la chaudière. Le tuyau qui amène la va-
ur au manomètre est adapté directement sur la chaudière, et non
r le tuyau de prise de vapeur ou sur tout autre tuyau dans lequel
vapeur est en mouvement.

Le manomètre doit être placé en vue du chauffeur.

Le manomètre doit être à air libre, c'est-à-dire ouvert par le haut,
tes les fois que la pression effective (336) ne dépasse pas 4 atmo-
ères.

Pour les chaudières de la 4e catégorie (342), le manomètre est tou-
rs à air libre.

Une ligne, tracée d'une manière apparente sur l'échelle de chaque
nomètre, indique le niveau que le mercure ne doit pas dépasser.

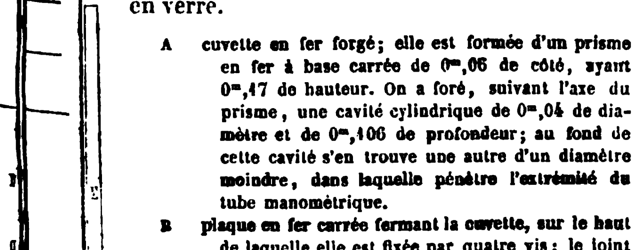
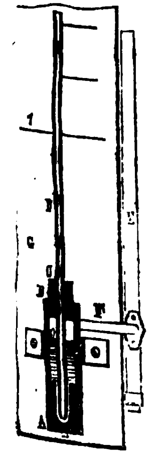


Fig. 65.



La fig. 65 est la coupe, à l'échelle de 1/5, d'un manomètre à air libre, à cuvette et à tube en verre.

A cuvette en fer forgé; elle est formée d'un prisme en fer à base carrée de 0m,06 de côté, ayant 0m,17 de hauteur. On a foré, suivant l'axe du prisme, une cavité cylindrique de 0m,04 de diamètre et de 0m,106 de profondeur; au fond de cette cavité s'en trouve une autre d'un diamètre moindre, dans laquelle pénètre l'extrémité du tube manométrique.

B plaque en fer carrée fermant la cuvette, sur le haut de laquelle elle est fixée par quatre vis; le joint est fait à l'aide d'un peu de mastic de minium interposé entre les surfaces de contact.

C bouchon en fer vissé dans la plaque B. Ce bouchon est percé d'un trou dont le diamètre est un peu supérieur à celui du tube en verre qu'il doit recevoir. Vers le bas ce trou est rétréci pour retenir le mastic qui doit sceller le tube dans le bouchon C.

D tube en cristal, de $0^m,003$ de diamètre intérieur et de $0^m,009$ à $0^m,01$ de diamètre extérieur, dont la longueur dépend du maximum de pression que le manomètre doit mesurer.

E tube en fer creux de $0^m,015$ de diamètre intérieur, fermé supérieurement et inférieurement par des bouchons à vis en fer.

F petit tuyau courbé établissant la communication entre le bas du tube E et la cuvette A, immédiatement au-dessous du bouchon C. Un tuyau analogue, suffisamment long, établit de même la communication entre le haut du tube et la chaudière.

G madrier en sapin portant l'échelle, et auquel est fixé tout l'appareil.

Cet appareil doit être rempli de mercure et monté sur place. Le madrier étant fixé à un mur vertical, avant de mettre le tube D en place, on verse le mercure dans la cuvette, jusqu'à ce qu'il ait atteint un niveau O, tel que quand la pression sera maximum, la surface du mercure couvre encore d'un demi-centimètre au moins le haut de la partie rétrécie de la cavité de la cuvette. On met alors en place le tube D, en tenant son extrémité à 4 ou 5 millim. du fond de la cavité de la cuvette, et on le fixe au madrier G par des brides légères, en ayant soin d'interposer un peu de coton entre le tube et le madrier. On lute ensuite le tube au bouchon C, en ayant soin, pendant cette opération, d'échauffer ce dernier en le tenant entre des tenailles de forges portées au rouge sombre.

L'opération terminée et l'appareil refroidi, on remplit complétement le tube E d'eau, qui s'introduit également dans toute la partie restée vide de la cuvette, et on visse le bouchon qui ferme le haut du tube.

La pression de la colonne d'eau a fait monter le mercure dans le tube en cristal jusqu'à un certain niveau, qui est le point de départ de l'échelle, et où l'on marque une atmosphère. A partir de ce point, on divise le madrier sur sa hauteur, en parties égales, dont chacune représente 1/10 d'atmosphère.

Désignant par h l'intervalle de deux divisions, en négligeant la variation du niveau O dans la cuvette, on aurait

$$h = 0^m,076.$$

Mais pendant que le niveau du mercure s'élève de h dans le tube, il s'abaisse de $h\,\frac{\frac{1}{4}\pi d^2}{\frac{1}{4}\pi(\delta^2 - d'^2)}$ dans la cuvette ; on a donc, en négligeant l'influence de l'eau qui remplace le mercure dans la cuvette,

$$0^m,076 = h + h\,\frac{d^2}{\delta^2 - d'^2}, \quad \text{d'où} \quad h = 0^m,076\,\frac{\delta^2 - d'^2}{\delta^2 - d'^2 + d^2}.$$

d diamètre intérieur du tube en cristal D ;

d' diamètre extérieur *id.*

δ diamètre de la cavité de la cuvette A.

Comme, par suite de la condensation de la vapeur, le tube E re-

…amment plein, et que l'eau qui remplace le mercure dans la cu-
…tend à augmenter h, on a donc en réalité

$$0^m,076 = h + h\frac{d^2}{\delta^2 - d'^2} - h\frac{d^2}{\delta^2 - d'^2} \times \frac{1}{13,596}$$

sensiblement

$$0,076 = h\,\frac{27(\delta^2 - d'^2) + 25d^2}{27(\delta^2 - d'^2)}, \quad \text{d'où} \quad h = 0^m,076\,\frac{27(\delta^2 - d'^2)}{27(\delta^2 - d'^2) + 25d^2}. \quad (a)$$

13,596 densité du mercure; dans la formule on a fait $13,596 \times 2 = 27$.

Pour $\delta = 0^m,04$, $d' = 0^m,01$ et $d = 0^m,003$, on a

$$h = 0^m,076\,\frac{27(0,04^2 - 0,01^2)}{27(0,04^2 - 0,01^2) + 25 \times 0,003^2} = 0^m,0756.$$

Le manomètre … du mercure, sans cuvette, est composé de deux branches dans lesquelles il … l'échelle se gradue encore à l'aide de la formule (a), dans laquelle δ représente le diamètre intérieur de la branche qui communique avec la chaudière, et où $d' = 0$, puisque le tube en verre ne plonge plus dans la capacité de diamètre δ.

Comme il est très-difficile d'obtenir des tubes très-réguliers sur une longueur aussi grande que l'exige un manomètre à air libre indiquant 5 atmosphères de pression, il convient, surtout pour les manomètres sans cuvette, de les graduer au moyen d'une pompe portant un manomètre étalon.

Lorsque le tube indicateur est en verre, on voit le niveau du mercure dans toutes ses positions; mais quand il est en fer, on est obligé d'indiquer la pression au moyen d'un flotteur équilibré par un contrepoids, à l'aide d'un fil très-flexible passant sur une petite poulie très-mobile.

Pour graduer l'échelle d'un manomètre à air comprimé (fig. 66), on se sert de la formule

Fig. 66.

$$P = 2h + 0,76\,\frac{H}{H - h}, \quad (Int., 1570)$$

D'où (*Int.*, 488)

$$h = \frac{P}{4} + \frac{H}{2} - \sqrt{\left(\frac{P}{4} + \frac{H}{2}\right)^2 - H\,\frac{P - 0,76}{2}}.$$

P pression absolue de la vapeur, en hauteur de mercure,
$H = AD$ longueur de tube occupée par l'air sous la pression atmosphérique $0^m,76$;
$h = DD'$ quantité dont il se comprime quand la pression passe de $0^m,76$ à P; c'est la moitié de la différence de niveau du mercure dans les deux branches, qu'on suppose avoir même diamètre.

Donnant à P différentes valeurs, on en conclura les valeurs correspondantes de h. Pour $P = 5$ *atmos.* $= 3^m,80$ de mercure, supposant $H = 0^m,60$, on conclut de la dernière formule $h = 0^m,443$. Comme vérification, en substituant cette valeur de h dans la première formule, on en conclurait bien $P = 3^m,80$.

Manomètre métallique de M. E. Bourdon. Ce manomètre, entièrement métallique et sans mercure, est basé sur ce principe : lorsqu'un tube métallique est enroulé en hélice, toute augmentation de pression intérieure ou diminution de pression extérieure le déroule, et au contraire toute diminution de pression intérieure ou augmentation de pression extérieure l'enroule davantage. Aussi M. Bourdon construit-il également des baromètres d'après ce principe.

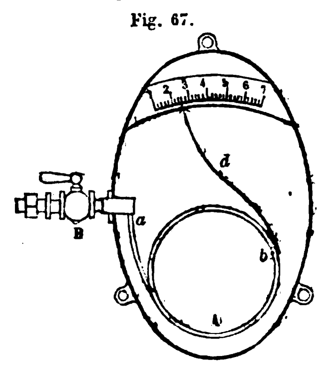


Fig. 67.

La fig. 67 représente le manomètre de M. Bourdon. Le tube A est en laiton bien homogène; sa longueur est 0^m,70, et sa section est une ellipse ayant 11 et 4 millimètres pour axes; il est enroulé dans le sens de son petit axe sur un peu moins de deux spires. Son extrémité a est fixée à une tubulure à robinet B, qui permet de le mettre en communication avec la chaudière ou le récipient dont le manomètre doit indiquer la pression intérieure. L'extrémité b est fermée et tout à fait libre; elle porte une aiguille d qui se meut sur un cadran que l'on a gradué en atmosphères et fractions d'atmosphères à l'aide d'un manomètre étalon à air libre, en faisant fonctionner l'appareil avec de l'air comprimé. Le tout est renfermé dans une caisse en fonte qui préserve l'appareil des chocs et permet de le fixer où l'on veut. A partir du robinet B, le tube qui va à la chaudière doit se courber de manière à s'élever jusqu'à un niveau supérieur au manomètre; par cette précaution, il reste toujours un peu d'eau provenant de la vapeur condensée dans la partie basse du tuyau, et la vapeur ne venant jamais jusque dans le tube élastique, celui-ci est dans les meilleures conditions de conservation.

Ce manomètre est très-portatif, peu volumineux, nullement fragile, et il ne coûte que 50 fr. Concurremment avec le manomètre de M. Desbordes, on en fait un usage exclusif sur les locomotives.

L'administration a commandé à M. Bourdon des *manomètres vérificateurs*, gradués jusqu'à 18 atmosphères, et le 26 août 1852 elle en a adressé à tous les ingénieurs chargés de la surveillance des appareils à vapeur, pour leur servir à vérifier les différents instruments manométriques employés sur les chaudières. Une tubulure réglementaire

net, dont la bride a 0m,04 de diamètre extérieur, sert à fixer le mètre vérificateur.

manomètres étalons sont employés avec avantage pour les es des chaudières à vapeur (337). Ils remédient à l'incertitude ue inévitable des résultats fournis par les soupapes, qui laissent ent, par suite d'un défaut de rôdage, échapper l'eau bien avant a pression ait atteint son degré maximum. Quand une rupture i, ils indiquent à quelle pression elle s'est produite. En donnant amment la pression, ils évitent qu'on ne la pousse au delà de la e légale, ce qui est toujours dangereux pour les appareils; les apes, en grippant sur leur siége, peuvent ne se soulever que un excès de charge.

ppareil ayant bien résisté, si un joint vient à manquer à une sion voisine de la pression légale, on peut considérer l'épreuve me satisfaisante, au lieu qu'avec l'usage seul de la soupape, on obligé de tout recommencer.

. Bourdon a construit des manomètres de son système indiquant pressions s'élevant à 200 ou 300 atmosphères, et qui trouvent leur loi dans la solidification des gaz (301).

ns le manomètre de M. Desbordes, la vapeur agit sur une ron-en caoutchouc fixée sur tout son contour aux parois du tube qui munique avec la chaudière, de manière à fermer ce tube, qui est lé en ce point. La pression augmentant, la rondelle de caout-ic se soulève en son milieu et pousse un petit piston dont la tige t faire fléchir une lame d'acier qui communique le mouvement iguille, par l'intermédiaire d'un mécanisme qui augmente les am-udes des mouvements.

. Bourdon construit aussi des baromètres métalliques fondés sur nême principe que son manomètre. Seulement le tube est fixé au port par son milieu, et il est fermé complétement à ses extré-tés. De plus, on y a fait un vide aussi parfait que possible, à un llimètre de mercure; d'où il résulte que, selon que la pression at-sphérique augmente ou diminue, le tube se ferme ou s'ouvre, et profite du mouvement de ses extrémités pour faire tourner une guille sur un cadran barométrique. La section du tube, au lieu être elliptique, est formée de deux arcs de cercle.

Le *baromètre anéroïde* de M. Vidy est le premier baromètre entière-ent métallique qui a été construit. Il est formé d'une espèce de len-le creuse en laiton, dans laquelle on a fait le vide; les parois nces se rapprochent ou s'écartent par suite des variations de la ession de l'air extérieur, et on profite de leur oscillation pour com-niquer le mouvement à une aiguille. Le tout est enfermé dans une ite circulaire, dont une face est formée par une glace qui permet lire sur le cadran que parcourt l'aiguille.

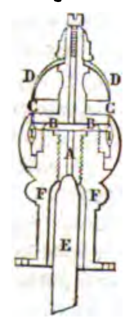
341. *Alimentation des chaudières à vapeur. Indicateur du niveau de l'eau dans ces chaudières.* Toute chaudière à vapeur doit être munie d'une pompe d'alimentation bien construite et en bon état d'entretien ou de tout autre appareil alimentaire d'un effet certain.

Injecteur automateur des chaudières à vapeur imaginé par M. Giffard. Cet appareil ingénieux, dont M. Combes a donné la description et la théorie (*Ann. des mines*, 1859), ne comporte aucune pièce solide mobile; il est fondé sur le principe de la communication latérale du mouvement des fluides. Un tuyau qui prend de la vapeur dans la chaudière se termine par une partie conique par laquelle la vapeur s'échappe; l'extrémité du cône se termine au fond d'une caisse dans laquelle arrive l'eau d'alimentation. Dans l'axe du cône, le fond de la caisse porte un trou légèrement évasée qui se prolonge par un tuyau communiquant avec la chaudière. La vapeur, par suite de sa condensation au contact de l'eau froide, arrive avec une grande vitesse, et par suite possède une force vive suffisante pour faire pénétrer dans la chaudière non seulement l'eau qui provient de sa condensation, mais aussi l'eau qui a servi à la condenser et qui est suffisante pour l'alimentation de la chaudière.

La vitesse et la force vive de la vapeur dépendant de la rapidité de la condensation, on conçoit que l'appareil doit être d'autant plus puissant que l'eau d'alimentation est à une température moins élevée. Tant que cette température n'atteint pas 40° environ, l'appareil fonctionne parfaitement; mais au delà, il laisse à désirer. Il peut rendre de grands services pour les épuisements que nécessitent les grandes voies d'eau à bord des navires à vapeur.

Le niveau que l'eau doit avoir habituellement dans chaque chaudière est indiqué à l'extérieur par une ligne tracée d'une manière apparente sur le corps de la chaudière ou sur le parement du fourneau. Cette ligne, que nous appellerons *ligne de niveau d'eau*, est d'un décimètre au moins au-dessus de la partie la plus élevée des carneaux, tubes ou conduits de la flamme et de la fumée dans le fourneau.

Fig. 68.



Chaque chaudière est pourvue d'un sifflet d'alarme (fig. 68), qui se fixe à la chaudière à l'aide d'une bride que porte le manchon FF. La tige E descend dans la chaudière et porte un flotteur. Quand le niveau de l'eau baisse de 0m,05 au-dessous de la ligne de niveau d'eau, la tige E descend et permet à la vapeur de passer par le canal A; la vapeur du canal A se rend, par les trous BB, dans le canal annulaire II, d'où elle sort par la fente circulaire très-étroite CC, pour frapper les bords du timbre ou cloche renversée DD et produire un sifflement très-aigu. Le flotteur, qui est ordinairement une pierre de liais du poids de 23 kilog. environ, et la tige E sont

librés par un contre-poids ; celui-ci ainsi que son levier, qui re- sur des couteaux, sont placés dans la chaudière.

fig. 69 représente, à l'échelle de 1/6, la disposition adoptée par Bourdon pour le sifflet d'alarme, l'indicateur de niveau et la pape de sûreté.

Fig. 69.

A boîte en fonte, à nervures pour résister à la pression de la vapeur, fixée sur la chaudière par une bride à 5 boulons ;

B sifflet d'alarme ; la soupape qui le ferme est ramenée sur l'ouverture par un ressort à boudin ;

C levier du flotteur ; quand le niveau baisse, ce levier, par l'intermédiaire de la chaîne en cuivre *c*, système de Gall, très-flexible, fait baisser la soupape qui ferme le sifflet ;

D levier du contre-poids du flotteur ; il est monté sur l'axe du levier C, en dehors de la caisse, et il se prolonge latéralement à la caisse par une aiguille, qui indique par sa position le niveau dans la chaudière. Avec cette disposition, le flotteur, au lieu de vaincre directement le frottement de la tige *d* du flotteur dans le stuffing-box, comme cela a lieu ordinairement, le vainc par l'intermédiaire d'un levier, ce qui le rend plus sensible. M. Bourdon, en faisant l'axe du levier C à embase conique, qui s'applique contre l'intérieur de la caisse du côté qui porte le levier D, et en le poussant par son autre extrémité à l'aide d'une pointe conique qui se visse dans une plaque appliquée latéralement à la caisse, évite la boîte à étoupe ; une simple rondelle de cuir, de feutre ou d'étoupe, forme le joint de cette plaque. La chaîne *c* doit être verticale quand elle ouvre la soupape du sifflet.

Dans ses derniers appareils, M. Bourdon supprime la chaîne *c*. La soupape qui interrompt l'arrivée de la vapeur au sifflet est horizontale, et se prolonge à l'extérieur par une tige tirée en dehors par un ressort à boudin ; un levier extérieur, monté sur le même axe que ceux C et D, vient presser sur cette tige quand le niveau atteint sa limite inférieure. De plus, l'embase conique de l'arbre des leviers, au lieu d'être poussée sur son siége par une vis, y est tiré par un étrier à vis placé à l'extérieur, du côté des leviers.

tube établissant la communication entre la chaudière et le manomètre, ou servant à une prise quelconque de vapeur.

Outre le flotteur d'alarme, la chaudière est munie de l'un des trois pareils suivants : 1° un flotteur ordinaire d'une mobilité suffisante ; un tube indicateur en verre ; 3° des robinets indicateurs convenablement placés à des niveaux différents. Ces appareils indicateurs vent, dans tous les cas, être placés en vue du chauffeur (324).

Lethuiller a supprimé le stuffing-box des flotteurs, en faisant nter leur tige dans une boîte verticale en cuivre fermée supérieurement par le sifflet d'alarme. Le dessus de la tige porte un aimant en à cheval qui entraîne dans ses mouvements une aiguille aimantée

placée en regard, hors de la boîte, dans un petit compartiment où la vapeur n'arrive pas. Une glace, qui ferme ce compartiment, permet de voir la position de l'aiguille sur une échelle.

Si plusieurs chaudières sont destinées à fonctionner ensemble, elles doivent être disposées de manière à pouvoir, au besoin, être rendues indépendantes les unes des autres. En conséquence, chaque chaudière doit être alimentée séparément, et être munie de tous les appareils de sûreté.

342. *Division des chaudières à vapeur en quatre catégories. Emplacement des chaudières à vapeur.* Exprimant en mètres cubes la capacité de la chaudière avec ses tubes bouilleurs, et en atmosphères la tension absolue de la vapeur dans la chaudière (336), et faisant le produit des deux nombres, *les chaudières sont dites de la première catégorie, si le produit est plus grand que* 15; *elles sont de la deuxième catégorie, si le produit surpasse* 7 *et n'excède pas* 15; *de la troisième, s'il est supérieur à* 3 *sans excéder* 7, *et enfin de la quatrième, s'il n'excède pas* 3.

Si plusieurs chaudières doivent fonctionner ensemble dans un même emplacement, et s'il existe entre elles une communication quelconque, directe ou indirecte, on prend, pour déterminer l'ordre de la catégorie, la somme des capacités de ces chaudières, y compris celle de leurs tubes bouilleurs.

Les chaudières à vapeur comprises dans la *première catégorie* doivent être établies en dehors de toute maison d'habitation et de tout atelier. Néanmoins, pour laisser la faculté d'employer au chauffage des chaudières une chaleur qui autrement serait perdue, le préfet peut autoriser l'établissement des chaudières de la première catégorie dans l'intérieur d'un atelier qui ne fait pas partie d'une maison d'habitation. L'autorisation est portée à la connaissance de notre ministre des travaux publics.

Toutes les fois qu'il y a moins de 10 mètres de distance entre une chaudière de la première catégorie et les maisons d'habitation ou la voie publique, il est construit, en bonne et solide maçonnerie, un mur de défense de 1 mètre d'épaisseur. Ce mur de défense est, dans tous les cas, distinct du massif des fourneaux, et en est séparé par un espace libre de 50 centimètres de largeur au moins. Il doit également être séparé des murs mitoyens avec les maisons voisines.

Si la chaudière est enfoncée dans le sol, et établie de manière que sa partie supérieure soit à un mètre au moins en contre-bas du sol, le mur de défense n'est exigible que lorsqu'elle se trouve à moins de 5 mètres des maisons habitées ou de la voie publique.

Lorsqu'une chaudière de la première catégorie est établie dans un local fermé, ce local ne doit point être voûté; mais il doit être couvert d'une toiture légère n'ayant aucune liaison avec les toits des ate-

ou autres bâtiments contigus, et reposant sur une charpente culière.

près la circulaire aux préfets, en date du 22 mai 1853, les conns d'isolement du local des chaudières de la première catégorie oute maison d'habitation ou de tout atelier ne doivent pas être és. L'isolement ne serait qu'apparent si le local de la chaudière contigu aux ateliers, et n'en était séparé que par des murs minslégers, ou des murs solides, mais percés de larges ouvertures. nd cette contiguïté existe, le mur mitoyen doit être solide et enment plein, sauf les ouvertures indispensables pour le passage tuyaux de vapeur ou des arbres de transmission de mouvement, le cas où les machines à vapeur sont établies dans le même local les chaudières.

es chaudières à vapeur comprises dans la *deuxième catégorie* peut être placées dans l'intérieur d'un atelier, si toutefois cet atelier fait pas partie d'une maison d'habitation ou d'une fabrique à plurs étages. Si les chaudières de cette catégorie sont à moins de ètres de distance, soit des maisons d'habitation, soit de la voie pue, il est construit de ce côté le mur de défense dont il vient d'être stion pour les chaudières de la première catégorie.

l'égard des terrains contigus non bâtis appartenant à des tiers, après l'autorisation donnée par le préfet pour l'établissement des udières de la première ou de la seconde catégorie, les propriées de ces terrains font bâtir dans les distances citées plus haut, ou es terrains viennent à être consacrés à la voie publique, la conaction de murs de défense, tels qu'ils sont prescrits ci-dessus, peut, la demande des propriétaires desdits terrains, être imposée au opriétaire de la chaudière, par arrêté du préfet, sauf recours devant notre ministre des travaux publics.

L'autorisation donnée par le préfet, pour les chaudières de la première et de la deuxième catégorie, indique l'emplacement de la chaure et la distance à laquelle elle doit être placée par rapport aux bitations appartenant à des tiers et à la voie publique, et fixe, s'il y a u, la direction de l'axe des chaudières. Cette autorisation détermine situation et les dimensions en hauteur et en largeur du mur de dénse d'un mètre, lorsqu'il est nécessaire de l'établir. Dans la fixation ces dimensions, on a égard à la capacité de la chaudière, au degré tension de la vapeur, et à toutes les autres circonstances qui peunt rendre l'établissement de la chaudière plus ou moins dangereux i incommode.

Les chaudières de la *troisième catégorie* peuvent être placées dans ntérieur d'un atelier ne faisant pas partie d'une maison, sans que le ur de défense soit exigé.

Les chaudières de la *quatrième catégorie* peuvent être placées dans

l'intérieur d'un atelier quelconque, lors même qu
partie d'une maison d'habitation. Dans tous les ca
sont munies d'un manomètre à air libre (340).

Les fourneaux des chaudières à vapeur comprises
et dans la *quatrième catégorie* sont entièrement sép
pace vide de 50 centimètres au moins des maisons
partenant à des tiers.

Lorsque les chaudières établies dans l'intérieur d'u
maison d'habitation sont couvertes, sur le dôme et su
enveloppe destinée à prévenir les déperditions de c
veloppe est construite en matériaux légers; si elle es
épaisseur ne doit pas dépasser un décimètre.

343. *Machines à vapeur employées dans l'intérie*
machines à vapeur employées à demeure dans l'in
sont pourvues des appareils de sûreté prescrits dans
cédents pour les machines fixes, et doivent subir les
Elles ne peuvent être établies qu'en vertu d'autoris
délivrées sur le rapport des ingénieurs des mines.
déterminent les conditions relatives à l'emplacemen
et au service habituel des machines.

DISTILLATION.

344. La distillation a pour but de séparer une s
d'une ou de plusieurs autres substances fixes, ou vo
pératures différentes.

Pour ce mode de vaporisation, les dimensions d
pendent de la quantité de vapeur à former dans un
la température d'ébullition du liquide (289), de sa c
vaporisation (288), et de sa capacité calorifique, ain
résidu (286). De ces divers éléments, on déduit au
combustible à brûler (314), et par suite la surface d
la section de la cheminée (317).

Les surfaces de chauffe nécessaires pour vaporis
temps, un même poids d'un liquide quelconque et d
rapport des quantités de chaleur absorbées pour éch
les deux liquides. Quand il y a plusieurs liquides à v
ce qui a lieu généralement, la quantité totale de ch
égale à celle nécessaire pour vaporiser tous les liqu
et amener le résidu à la température d'ébullitio
chauffe est aussi égale à la surface que nécessiterait
tous les liquides en particulier et l'échauffement du

exemple. Soit à vaporiser, en une heure, 150 kilog. d'alcool pur
empérature primitive de 0°.
température d'ébullition de l'alcool sous la pression atmosphé-
e 0m.76 étant 78°,41, sa capacité calorifique 0,622, et sa chaleur la-
de vaporisation 207, la quantité de chaleur nécessaire pour en
oriser un kilogramme est

$$78,41 \times 0,622 + 207 = 256 \text{ unités},$$

-à-dire à peu près les 4/10 de celle nécessaire pour vaporiser 1 kil.
u préalablement à 0° (288).
1 kilog. de houille vaporisant 6 kilog. d'eau, il vaporisera donc
$\frac{10}{4} = 15$ kil. d'alcool.
n mètre carré de surface de chauffe vaporisant de 15 à 20 kilog.
u, il vaporisera donc de $15 \times \frac{10}{4} = 38$, à $20 \times \frac{10}{4} = 50$ kilog. d'al-
l. En supposant seulement 38 kilog., les 150 kilog. d'alcool à 0°
eront $\frac{150}{38} = 4^{mc},95$ de surface de chauffe, et la quantité de houille
lée sera $\frac{150}{15} = 10$ kilog.

exemple. Soit à distiller en une heure 500 litres d'un vin dans
uel les quantités d'alcool et d'eau sont dans le rapport de 1 à 22,8.
expérience prouve que pour obtenir presque tout l'alcool, il faut
oriser les 0,22 de la masse totale, ce qui donne 110 litres d'une
eur composée de 21 litres d'alcool et de 89 litres d'eau.
a quantité de houille à brûler est alors:

ur vaporiser les $0,792 \times 21 = 16,63$ kilog. d'alcool (45), $\frac{16,63}{15} = 1^k,11$

ur vaporiser les 89 kilog. d'eau. . . . . $\frac{89}{6} = 14,83$

ur élever à 100° les 390 kilog. de résidu. . . $\frac{100 \times 390}{650 \times 6} = 10,00$

Total. 25,94

$25^k,94$ de houille pouvant vaporiser $25^k,94 \times 6 = 155^k,64$ d'eau, la
rface de chauffe nécessaire pour distiller les 500 litres de vin sera
nc de $\frac{155,64}{15} = 10^{mc},38$.

L'alcool est produit par la fermentation vineuse ou alcoolique des
iqueurs sucrées ou amilacées. L'eau-de-vie est un mélange d'eau et
alcool, que l'on obtient en soumettant ces liqueurs fermentées à
ne distillation partielle. Le sucre est la seule substance qui se trans-

forme en alcool par la fermentation; l'amidon se transfo
en sucre de raisin.

Beaucoup de *sucs végétaux sucrés* sont employés à la f
l'eau-de-vie: tels sont le vin, le cidre, le poiré, etc.; le
exprimé de la canne à sucre contient 12 à 16 pour
et donne le *rhum;* le jus de cerises donne le *kirsch-w*
coup de racines sucrées, telles que la betterave, la carot
nent des liqueurs spiritueuses; on en peut retirer 10 à
la betterave.

Matières amilacées. Toutes les céréales propres à la f
la bière, le froment, le seigle, l'orge, servent à la fabrica
de-vie, ainsi que le maïs; la quantité d'eau-de-vie qu'on
proportionnelle à l'amidon qu'elles renferment; l'orge et
les plus employés. La pomme de terre, en raison de sc
de sa richesse en amidon, qui s'élève de 16 à 22 p. 100
est très-employée pour la fabrication de l'eau-de-vie.

L'eau-de-vie qui sert de boisson contient généraleme
pour 100 en volume d'alcool pur, à la température d
dans le commerce on appelle *esprit* en contient de 70 à
à la même température. Les vins du Midi donnent plus
que ceux du Nord; on en retire jusqu'à 1/3 des premier
ment 1/4, au lieu que ceux du centre n'en donnent qu
du Nord seulement de 1/8 à 1/10.

Lorsqu'on distille une matière quelconque, on dépense
quantité de chaleur pour l'amener à la température
Dans un grand nombre de cas, on peut obtenir cette
température au moyen de la chaleur provenant de la
des vapeurs, ce qui constitue une véritable économie de

345. *Condensation des vapeurs.* On peut admettre : 1°
même vapeur, la quantité condensée par une même su
portionnelle à la différence entre la température de la va
de l'air ou de l'eau qui sert de réfrigérant; 2° que pour
différentes, les quantités condensées, par une même su
un même excès de température, sont en raison inverse
de chaleur contenues dans un même poids des vapeurs (

Quand l'eau est employée comme réfrigérant, le poi
d'eau condensée par heure et par mètre carré de surfac
différence de température de 1°, est de 8 à 9 kil. si le co
un tuyau d'un petit diamètre; cette quantité est rédui
2k,50 pour les appareils minces à double enveloppe, et e
1k,40 pour les vases d'une grande capacité. La grande
ces nombres est due à ce que l'air mis en liberté par
tion est parfaitement expulsé des petits tuyaux, au lieu
contact avec les parois des grands vases. Si l'air est em

igérant, la surface du condenseur est environ 200 fois plus grande avec de l'eau. En disposant les condenseurs à air, de manière que r fût rapidement renouvelé, on pourrait diminuer leur surface.

Partant de ces poids de vapeur d'eau condensés, en appliquant les lois précédentes, on déterminera facilement la quantité d'une peur quelconque ou d'un mélange de plusieurs vapeurs qui sera ndensée par un mètre carré de surface pour une différence de température donnée.

ÉVAPORATION.

46. *Évaporation spontanée à l'air libre.* Cette évaporation, que l'on mploie guère que dans l'extraction du sel marin, est d'autant plus ive : 1° que la surface des liquides est plus grande ; 2° que la température du liquide à évaporer et de l'air environnant ou de l'un de s deux corps seulement est plus grande ; 3° que l'air est plus sec et us rapidement renouvelé.

D'après M. Payen, dans les marais salants, en faisant usage de ce de d'évaporation, l'extraction de 1000 kilog. de sel coûte de 6 à rancs, suivant les localités et l'état de l'atmosphère. En évaporant u à l'aide de la houille, comme l'eau de mer contient à peu près 25 de sel marin, pour obtenir 1000 kilog. de sel, il faudrait évaporer $\frac{00}{25} \times 0{,}975 = 39\,000$ kil. d'eau, qui exigeraient $\frac{39\,000}{6} = 6500$ kil. houille. Supposant que l'hectolitre de houille de 80 kilog. coûte 10, le combustible brûlé pour obtenir 1000 kilog. de sel revient 95 fr.

347. *Évaporation par courant d'air forcé.* Ce genre d'évaporation s'emploie guère que pour la concentration des jus de fruits. Monlfier en a fait usage le premier, pour concentrer des marcs de raisin ant leur fermentation tout en leur conservant leurs principes fermentescibles. Il résulte de ses observations, qu'en automne un mètre be d'air dissout moyennement 3 grammes d'eau. Un homme, par travail effectif journalier de 6 heures, pouvant, à l'aide d'une machine, imprimer une vitesse de 5 mètres par seconde à environ 1000 mètres cubes d'air, la quantité d'eau qu'il évaporera en un jour ra donc de $70\,000 \times 0{,}003 = 210$ kilog. En diminuant de moitié la tesse imprimée à l'air, on pourrait quadrupler la quantité d'air ise en mouvement, et par là diminuer considérablement le prix de vient de ce mode d'évaporation.

348. *Évaporation à l'air libre et à l'aide d'un foyer.* Quelle que soit température à laquelle un liquide se vaporise, on admet ordinairement que la quantité de chaleur absorbée par sa vaporisation est la ême qu'à sa température d'ébullition ; mais, comme le remarque

M. Péclet, la quantité de chaleur absorbée augmente rapidement mesure que la température diminue, et cela, à cause de l'échauffement de l'air qui dissout la vapeur et du rayonnement.

Appelant :

F la force élastique de la vapeur en mètres, (292), d'où il résulte que la force élastique de l'air est $0,76 - F$;
P le poids de vapeur contenu dans un mètre cube d'air saturé;
p le poids de l'air seulement ; le poids de la vapeur et de l'air est $P+p$;
t la température de l'air saturé;
C le nombre d'unités de chaleur contenu dans le poids P de vapeur;
c le nombre d'unités de chaleur contenu dans le poids p d'air;

On a :

$$P = \frac{5}{8} \times \frac{1,3F}{0,76(1+at)} = \frac{1,07F}{1+at}, \qquad (44, 281, 293)$$

$$p = \frac{1,3(0,76-F)}{0,76(1+at)} = \frac{1,71(0,76-F)}{1+at},$$

$$C = P(606,5 + 0,305t), \qquad (288)$$

$$c = p \times 0,2377t \qquad (286)$$

C'est à l'aide de ces formules que l'on a calculé le tableau suivant

TABLEAU de la quantité de chaleur contenue dans un mètre cube d'air saturé différentes températures et sous la pression $0^m.76$, et du poids d'air sec nécessaire pour vaporiser 1 kilog. d'eau.

TEMPÉRATURE de l'air saturé.	TENSION de la vapeur (292)	TENSION de l'air (294)	POIDS de la vapeur (295)	POIDS de l'air (44 et 281)	CHALEUR de la vapeur (288)	CHALEUR de l'air (281)	CHALEUR totale.	POIDS d'air pour 1 kil. de vapeur.	[illegible]
	m	m	k	k	unités	unités	unités	k	k
5°	0.007	0.753	0.007	1.264	4.2	1.5	5.7	180.60	1.[illegible]
10	0.009	0.751	0.009	1.238	5.5	2.9	8.4	137.50	1.[illegible]
20	0.017	0.743	0.017	1.183	10.4	5.6	16.0	69 59	1.[illegible]
30	0.032	0.728	0.031	1.122	19.4	8.0	27.4	36.19	1.[illegible]
40	0.055	0.705	0.051	1.051	31.6	10.0	41.6	20.610	1.[illegible]
50	0.092	0.668	0.078	0.991	48.5	11.5	60.0	12.710	1.[illegible]
60	0.149	0.611	0.122	0.857	76.3	12.2	88.5	7.025	1.[illegible]
70	0.233	0.527	0.185	0.709	116.1	11.8	127.9	3.831	1.[illegible]
80	0.355	0.405	0.274	0.535	172.9	10.1	183.0	1.952	1.[illegible]
90	0.526	0.234	0.423	0.300	268.2	6.4	274.6	0.709	0.[illegible]

En admettant que la vapeur ne se dégage dans l'air que quand celui-ci s'en est saturé à la température du liquide ou de la vapeur, on déterminera facilement, au moyen du tableau précédent, les quantités de chaleur absorbées par la vaporisation d'un kilog. d'eau à différentes températures, y compris l'échauffement de l'air. Ainsi, en supposant l'eau et l'air sec à 0°, si l'on évapore à 40°, un kilog. d'eau absorbera

ur la vapeur $31,6 \frac{1}{0.051} = \frac{31,6}{0,051} = 620$;

ur l'air $10 \frac{20,61}{1,051} = 196$;

tal 620 + 196 = 816 unités de chaleur.

EAU de la quantité totale de chaleur moyennement absorbée par l'évaporation *i kilogramme d'eau à différentes températures, y compris le rayonnement et* *chauffement de l'air, d'après les expériences de M. Péclet.* La température de l'air rieur était de 15°.

TEMPÉRATURE DE L'EAU.	CHALEUR ABSORBÉE.
	unités.
de 58°25 à 55°25	724
de 55 25 à 52	780
de 52 à 48 50	837
de 48 50 à 44 75	893
de 44 75 à 40 75	949
de 40 75 à 36 25	1063
de 36 25 à 31 25	1176

içant une courbe ayant pour abscisses les températures moyennes bleau précédent, et pour ordonnées les quantités correspon- s de chaleur absorbées, de cette courbe, convenablement pro- e au delà des limites des expériences, on conclut, pour une érature extérieure de 15°, que les quantités totales de chaleur bées par l'évaporation d'un kilogramme d'eau sont approxima- ent, les températures de l'eau étant

20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°,
1370	1160	1070	840	760	720	690	660.

tranchant de ces nombres les quantités de chaleur absorbées a vapeur et l'échauffement de l'air, que l'on peut calculer comme té indiqué ci-dessus, on aurait les pertes de chaleur dues au nnement.

BLEAU des poids de vapeur formés en une heure par un mètre carré de surface d'eau à différentes températures, dans un air calme.

TEMPÉRATURE.	POIDS D'EAU VAPORISÉ.	TEMPÉRATURE.	POIDS D'EAU VAPORISÉ.
	k		k
20°	0.32	60°	2.71
30	0.57	70	4.32
40	1.00	80	6.64
50	1.70	90	10.00

Dans les énormes chaudières rectangulaires qui étai
aux salines de Dieuze, et qui avaient 25 mètres de long
de largeur et 0^m,004 d'épaisseur de tôle, suivant que l
en ébullition ou non, la houille brûlée pour obteni
sel était de 36 à 38 kilog. ou de 42 à 44 kilog. L
grille et de chauffe étaient à peu près le double de
raient dans une chaudière à vapeur ordinaire pour u
sommation de combustible (322 et 327). La cheminée
tion supérieure à celle que donnerait la formule (c)
geant la résistance, qui est très-faible, de la fumée av
dans la cheminée; elle avait 18 mètres de hauteur sur
en bas, et 0^m,60 en haut; elle était commune à quatre
sommaient chacun 52 kilog. de houille à l'heure, 0^k,4
carré de grille; la température de la fumée y était d
kilog. de houille vaporisait 7^k,50 d'eau.

549. *Évaporation des liquides chauffés par la va*
évapore un liquide dans un appareil à double fond,
fait arriver de la vapeur d'eau, on peut admettre qu
carré de surface peut condenser 2^k,5 de vapeur à l'h
différence de température de 1 degré, et que pour l
serpentin, cette condensation s'élève à 8 ou 9 kil., si
serpentin est de 0^m,025 à 0^m,030 pour un développemen
pas 20 à 30 mètres.

Exemple. Soit à concentrer en une heure 5000 ki
c'est-à-dire de sirop avant la cuisson. Ce sirop, com
ment de 30 parties d'eau pour 70 parties de sucre, po
47° de l'aréomètre, degré ordinaire de concentration,
15 p. 100 d'eau; ce qui fait 750 kil. pour 000 kil. de sir
ture d'ébullition de la clairce étant 110° et sa chaleur s
de celle de l'eau, la quantité de chaleur nécessaire
5000 kilog. de 20° à 110° est $\frac{5000 \times 90}{2} = 225000$ unit

respond à la chaleur dégagée par la condensation de

de vapeur d'eau (288). La quantité totale de vapeur
élever la température de la clairce de 20° à 110°, et
15 pour 100 d'eau, est donc $750 + 409,1 = 1159,1$ kil

Supposons maintenant que la vapeur soit à la
142°,70, ce qui correspond à 3,75 atmosphères de pre
dant que la clairce s'échauffe, l'excès moyen de la te
vapeur sur celle de la clairce est

$$142,70 - \frac{110 + 20}{2} = 77°,70.$$

nt l'évaporation, la différence des températures de la vapeur et quide étant à peu près 27°, la durée totale de l'évaporation est la que s'il s'agissait de condenser $750 + \frac{27}{77,70} 409,1 = 892$ kilog. peur avec une différence de température de 27°. En supposant l'on condense dans des serpentins, la surface de chauffe sera donc $\frac{}{8} = 1^{mc},13$, surface un peu trop grande pour un seul serpentin.

SÉCHAGE.

). *Séchage à l'air libre.* Les dispositions à adopter pour les bâtis destinés à ce mode de séchage, usité principalement dans les chisseries, consistent : 1° à placer ces bâtiments dans un lieu où n'empêche la circulation de l'air ; 2° à leur donner une grande ation, afin que les matières à sécher se trouvent dans un air plus et plus agité ; 3° à laisser une libre circulation à l'air sur toutes ces du bâtiment. Pour les séchoirs à colle, comme il serait danx d'y laisser pénétrer l'air chargé de vapeur, on garnit les ouvers du bâtiment de jalousies que l'on ferme pendant les temps hus.

1. *Séchage produit par un courant d'air chauffé préalablement.* Les problèmes auxquels donne naissance ce mode de séchage vont être résolus en suivant la marche que nous allons indiquer la solution des deux problèmes suivants, dont l'un est la réciproque de l'autre.

remier problème. Soit à déterminer la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de houille, l'air saturé sortant du séchoir à 10°, et la pérature de l'air extérieur, supposé sec, étant 0°.

la température de 10° et sous la pression $0^m,76$, un mètre cube saturé contenant $1^k,238$ d'air, et $0^k,009$ de vapeur dont la formation a absorbé 5,5 unités de chaleur (348), la température de l'air ntrée du séchoir doit être de

$$10 + \frac{5,5}{0,2377 \times 1,238} = 28°,7.$$

upposant que 1 kil. de houille produise 6000 unités de chaleur, urra élever $\frac{6000}{0,2377 \times 28,7} = 880$ kilog. d'air de 0° à 28°,7, dont le me en air saturé sera $\frac{880}{1,238} = 711$ mètres cubes ; le poids d'eau l vaporisera est donc $0,009 \times 711 = 6^k,4$.

ar des calculs semblables, supposant toujours l'air primitivement

sec et à 0°, on trouverait que la quantité d'eau vaporisée par kilog. de houille croît sensiblement avec la température de l'air saturé ; mais que, pour un léger accroissement de cette température, celle de l'air à son entrée dans le séchoir augmente d'une quantité considérable.

Deuxième problème. Soit à évaporer 25 kilog. d'eau en une heure, la température de l'air saturé au sortir du séchoir étant 30° et la température de l'air saturé extérieur étant 15°.

Pour l'établissement des appareils destinés à opérer ce mode de séchage, il faut toujours se placer dans les conditions les plus défavorables d'état hygrométrique et de température de l'air extérieur; ainsi il convient de supposer cet air entièrement saturé, et à une température supérieure à la température moyenne à laquelle il se trouvera pendant tout le temps que fonctionnera l'appareil. Dans le nord de la France, pour un appareil permanent, il convient de supposer l'air extérieur à 15° et complétement saturé.

A 30° et sous la pression $0^m,76$, un mètre cube d'air saturé contient $0^k,031$ de vapeur, et à 15° il en contient $0^k,013$ (348). Par conséquent, en passant de 15° à 30°, chaque mètre cube d'air dissoudra, en négligeant la dilatation de l'air, $0,031 - 0,013 = 0^k,018$ d'eau. Pour dissoudre les 25 kilog., il faudra donc à très-peu près $\frac{25}{0,018} = 1389$ mètres cubes d'air à 30°, dont le poids est (348) $1,122 \times 1389 = 1558$ kil.

La quantité de chaleur que perd l'air chaud pour dissoudre à 30° les 25 kil. d'eau à 15° est $25\,(606,5 + 0,305 \times 30) - 15 \times 25 = 15016$ unités; sa température à l'entrée du séchoir est alors

$$30 + \frac{15016}{0,305 \times 25 + 0,2377 \times 1558} = 69°,7.$$

La quantité totale de chaleur dépensée se compose de la chaleur employée pour porter de 15° à 30° la vapeur contenue dans l'air à 15°, de celle employée pour vaporiser les 25 kil. d'eau, et de celle absorbée par l'air en passant de 15° à 30°; elle est donc

$$0,305 \times 15 \times 25 \times \frac{0,013}{0,018} + 15016 + 0,2377 \times 1558 \times 15 = 20654.$$

Si l'air qui entre dans le séchoir a servi à la combustion, le poids de combustible à brûler s'obtient en divisant 20654 par la puissance calorifique du combustible; si au contraire l'air qui entre dans le séchoir n'a été chauffé qu'indirectement, il y a à peu près 20 pour 100 de la chaleur perdue (357), et le poids de combustible à brûler s'obtient en divisant 20654 par les 0,80 de la puissance calorifique. Ayant la quantité de combustible à brûler, on détermine la surface de la grille (32…).

La formule générale (c) (317) peut, dans un grand nombre de cas, servir à calculer la section de la cheminée d'appel : quand, par exemple

orce ascensionnelle de l'air avant d'arriver au séchoir compense les ttements depuis le foyer jusqu'à la sortie du séchoir ; car, alors, la eminée d'appel ne fait plus qu'évacuer l'air du séchoir, et vaincre les ttements de cet air contre ses parois ; cependant il convient d'aug- enter la section que donne cette formule. Le plus souvent, on cal- le la section de la cheminée d'appel de manière que la vitesse de ir y soit de 2 mètres.

M. Lacambre et Persac, dans une touraille continue construite à avain, ont établi, pour chauffer l'air, un calorifère dont la surface chauffe est de 100 mètres carrés ; il brûle en 12 heures 400 kilog. de iille, et il sèche par jour 50 hectolitres de malt, renfermant chacun 27 à 36 kilog. d'eau ; ce qui donne seulement une évaporation de 7 à $2^k,2$ d'eau par kilog. de houille. Ce peu d'effet est dû à ce qu'il est possible de saturer complétement l'air dans le séchage des matières lvérulentes.

352. *Séchage par l'air froid préalablement desséché.* Ce mode de ssiccation peut s'appliquer à la colle, qui ne peut supporter, lors- 'elle est en gelée, qu'une température de 35° environ.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'obtenir 500 kilog. de colle he, l'air desséché étant à 10°. La colle en gelée contenant des 2/3 15/6 de son poids d'eau, il faudra donc, en adoptant la proportion 2/3, i est celle des colles communes, pour obtenir les 500 kilog. de colle he, évaporer 1000 kilog. d'eau ; or, un mètre cube d'air saturé à ' contenant $0^k,009$ d'eau (348), il faudra donc, pour dissoudre les 00 kilog. d'eau, faire passer sur la colle $\frac{1000}{0,009} = 111\,111$ mèt. cubes ir sec.

Pour faire l'appel de ces 111111 mètres cubes d'air, il faudrait rûler environ 100 kilog. de houille, qui coûteraient 5 fr. à Paris ; au oyen d'un ventilateur, cet appel pourrait coûter 4 fr. (320).

La perte sur la chaux employée à dessécher l'air ne peut qu'être ible, si l'on a soin de ne lui faire absorber que la moitié de son poids au ; car, à cet état, elle est encore propre aux constructions.

353. *Séchage des étoffes.* Selon que les étoffes en sortant de l'eau it été simplement tordues, ou soumises à l'action d'une presse iissante, ou essorées, elles contiennent, pour un kilog. d'étoffe, les oids d'eau du tableau suivant. (Mémoire de M. Rouget de Lisle, inséré me L du *Bulletin de la Société d'encouragement.*)

	Flanelle.	Calicot.	Soie.	Toile de lin.
Tordage.	$2^k,00$	$1^k,00$	$0^k,95$	$0^k,75$
Pressage.	$1^k.00$	$0^k,60$	$0^k,50$	$0^k,40$
Essorage. . . .	$0^k,60$	$0^k,35$	$0^k,30$	$0^k,25$

Pour obtenir ces derniers résultats, la caisse mobile de l'essoreuse

doit avoir 0^m,80 de diamètre et faire de 500 à 600 tours par minute.

Les essoreuses sont essentiellement composées d'un récipient en toile métallique à mailles serrées mobile autour d'un axe, et d'un second vase fixe, en tôle ou en fonte, plus grand que le premier, qui recueille l'eau projetée. Leur forme et leurs dimensions varient suivant l'usage auquel on les destine et suivant qu'elles sont mues par des machines ou par des hommes. Dans les petites essoreuses employées dans les établissements de bains et lavoirs publics, le vase mobile est un cylindre en fil de fer galvanisé de 0^m,60 de diamètre sur 0^m,15 de hauteur; son arbre est vertical, et on lui communique le mouvement à l'aide d'une manivelle, par l'intermédiaire de deux roues s'engrenant avec deux pignons. La femme, après avoir placé son linge dans le récipient, tourne elle-même la manivelle. L'essorage peut être employé sans inconvénient pour le linge le plus fin; avec une vitesse de rotation suffisante, le linge fin peut être amené au point de dessiccation convenable pour le repassage.

Dans des expériences faites par M. Schlumberger, deux hommes en une heure de travail, ont enlevé 151 kilog. d'eau en poussant la dessiccation aussi loin que le permettait l'essoreuse.

Les séchoirs usités dans les fabriques de toiles peintes consistent en une tour carrée assez élevée, à la partie supérieure de laquelle règne une galerie faisant saillie. Quand le temps est beau, les étoffes se sèchent extérieurement en les suspendant à la galerie, et pendant les temps humides, elles se sèchent intérieurement par des courants d'air chaud dirigés du bas en haut. L'air chaud devant nécessairement, en se dégageant à la partie supérieure, sortir sans être complètement saturé, on ne doit obtenir que peu d'effet du combustible.

Dans des expériences faites à Mulhouse, en 1839, par M. Penot, 1 kilog. de houille n'a vaporisé que 1^k,36 d'eau pour un séchoir, et seulement 1^k,02 pour un autre; dans ce dernier, dont les murs étaient minces et percés d'un grand nombre de fenêtres, la température n'a pu être portée au delà de 30°. Dans d'autres expériences du même physicien, en fermant les soupiraux qui se trouvent à la partie supérieure du séchoir, 1 kilog. de houille a vaporisé 1^k,68 d'eau. Le séchoir avait 2983^{mc} de capacité et 9^m,60 de hauteur, et il était garni de 3 soupiraux ayant chacun 1^{mc},6 de section. Les toiles renfermaient 1054 k. d'eau, et ont été introduites d'une seule fois; de plus, le séchoir n'était pas complétement fermé. Dans une autre expérience faite dans des conditions plus favorables, 1 kil. de houille a vaporisé 2^k,86 d'eau.

D'après M. Penot, quand les séchoirs sont bien fermés et que l'on peut élever la température à 45 ou 50°, il y a économie à n'ouvrir les soupiraux que quand les toiles sont sèches, et qu'il est toujours avantageux d'élever la température autant que possible.

Si au lieu d'opérer par intermittence, comme dans les expériences

écédentes, on rend le séchage continu en remplaçant au fur et à sure les pièces d'étoffe sèches par des pièces humides, on augmente fet du combustible. D'après M. Royer, dans un étendage ayant 9^{m},68 longueur, 8^{m},20 de largeur et 19^{m},28 de hauteur, la surface de hauffe du calorifère étant de 70^{mc},5, et la consommation moyenne houille 25 kilog. à l'heure, trois expériences qui ont duré chacune inze jours ont donné un effet utile moyen de 2^{k},37, 2^{k},53 et 2^{k},18 eau évaporée par kilogramme de houille.

Ces séchoirs ont une trop grande surface extérieure. En leur donnant une faible hauteur, en faisant évacuer l'air par le bas et en rennt l'opération bien continue, on augmenterait l'effet du combustle.

Dans un séchoir construit par M. René Duvoir, pour une blanchisrie, les pièces de calicot sont suspendues verticalement aux solives un plancher à claire-voie, sur lequel marchent les ouvriers pour lacer ou retirer les étoffes. Trois calorifères, placés sous le sol du échoir, lancent l'air à la température moyenne de 120° dans un canal n briques, d'où il s'échappe au niveau du sol par un grand nombre ouvertures garnies de coulisses. L'air chaud s'élève d'abord, et il est nsuite obligé de redescendre pour gagner les orifices d'évacuation acés au niveau du sol. Au commencement de l'opération, on ouvre ussi des orifices d'évacuation placés au milieu de la hauteur du séhoir. En 6 heures, on sèche 150 pièces de calicot qui contiennent 130 kilog. d'eau, et la consommation de houille est de 1 kilog. par ^{k},52 d'eau évaporée. Le volume d'air lancé dans le séchoir était de 5000 mètres cubes. La température extérieure étant de 25°, on a rouvé que la température à la sortie des cheminées était de 38°; l'où il résulte que l'air est loin d'être saturé. C'est surtout vers la fin des opérations qu'il y a une grande perte de chaleur; de plus, il est impossible de répartir uniformément l'air dans toutes les parties du séchoir.

En faisant avancer d'une manière continue une pièce d'étoffe à l'aide de rouleaux convenablement disposés, et en obligeant par des cloisons fixes horizontales l'air à marcher en sens contraire de l'étoffe, on conçoit que le séchoir peut être réduit à une simple caisse.

Séchage des étoffes par le contact des surfaces métalliques. Clément, en appliquant une pièce de calicot, pesant 2^{k},50 et contenant un égal poids d'eau, sur une plaque de cuivre d'une surface égale à la sienne, et chauffée par la vapeur à 100°, a obtenu sa dessiccation en une minute. Dans cette expérience, la quantite d'eau évaporée par mètre carré de surface de cuivre a été de 6^{k},94 par heure.

Dans les fabriques, on sèche les étoffes en les faisant passer sur des cylindres en fonte chauffés intérieurement par la vapeur.

D'après des expériences faites par M. Royer, 20 pièces de calicot

sortant de la presse et pesant 150 kilog. ont été séchées en 3 heures 1/ leur poids a été réduit à 76 kilog., et les 74 kilog. d'eau ont conden 102 kilog. de vapeur; de sorte que, en admettant qu'un kilog. de houil produit 5 kilog. de vapeur, la quantité d'eau évaporée par kilogramm de houille a été de $5 \frac{74}{102} = 3^k,63$. La machine était à un seul cylindr l'eau de condensation était bouillante et la pression dans la chau dière était de $1^m,37$ de mercure. D'autres expériences faites avec u machine à 6 cylindres n'ont donné que $2^k,45$ d'eau évaporée pour kilog. de houille, mais cela en hiver et dans une salle mal fermée o la température était voisine de zéro.

CHAUFFAGE.

384. Avant de passer en revue les différents modes de chauffag nous croyons devoir rapporter succinctement dans ce numéro les ré sultats obtenus par M. Péclet dans des expériences récentes (*Trai de la chaleur*).

1° *Perte de chaleur due au rayonnement* (268). La température d corps restant constante et comprise entre 25° et 65°, et celle de l'en ceinte étant de 12°, la quantité de chaleur émise par rayonnement pa mètre carré et par heure est, la surface du corps étant convexe,

$$R = kt\,(1 + 0,0056\,t). \qquad (1)$$

t excès constant de la température du corps sur celle de l'enceinte;
k nombre constant qui dépend de la nature de la surface du corps, et dont la va est indiquée au tableau suivant :

Argent poli.	0.13	Tôle oxydée.	3.36	Noir de fumée. . . .	4.
Papier argenté. . .	0.42	Fonte neuve. . . .	3.17	Pierre à bâtir. . . .	3.6
Laiton poli.	0.258	Fonte oxydée. . . .	3.36	Plâtre.	3.6
Papier doré.	0.23	Verre.	2.91	Bois.	3.6
Cuivre rouge. . . .	0.16	Craie en poudre. .	3.32	Étoffes de laine. . .	3.
Zinc.	0.24	Poussière de bois. .	3.53	Calicot.	3.6
Étain.	0.215	Charbon en poudre.	3.42	Étoffes de soie. . .	3.7
Tôle polie.	0.45	Sable fin.	3.62	Eau.	5.3
Tôle plombée. . . .	0.65	Peinture à l'huile.	3.71	Huile.	7.
Tôle ordinaire. . .	2.77	Papier.	3.77		

Pour le papier et les étoffes la couleur est sans influence.

Pour des températures t' de l'enceinte qui ne différeraient de 1 que de quelques unités, on multiplierait les valeurs de k du table précédent par $1 + 0,0037\,(t' - 12)$.

D'après Dulong, la chaleur rayonnée par mètre carré et par heur est représentée par la formule.

$$R = ma^{\theta}(a^t - 1). \qquad (2)$$

température de l'enceinte ;
excès de la température du corps sur celle de l'enceinte ;
nombre constant égal à 1,0077 ;
nombre constant qui dépend de la nature de la surface du corps, et que, d'après les expériences de M. Péclet, il convient de faire égal à 124.72 k, quand l'enceinte est à surface terne, ce qui a presque toujours lieu, excepté dans des recherches de laboratoire.

ilong a vérifié sa formule pour des excès de température s'élevant u'à 260°, et M. Péclet conseille de l'employer toutes les fois que mpérature de l'enceinte différera notablement de 12° et quand ès de température ne sera pas compris entre 25° et 65°.

Perte de chaleur due au contact de l'air. Cette perte est indépen- e de la nature de la surface du corps et de la température de l'en- te : elle ne dépend que de l'excès de la température du corps sur e de l'enceinte, et de la forme et des dimensions du corps. Dans les cas, elle est représentée, pour un excès de la température pris entre 25° et 65°, pour un mètre carré et pour une heure, par ormule

$$A = k't(1 + 0{,}0073t). \qquad (3)$$

excès constant de température ;
nombre qui varie avec la forme et la dimension du corps, et qui est égal à $1{,}778 + \frac{0.13}{r}$ pour les corps sphériques de rayon r; à $2{,}058 + \frac{0{,}0382}{r}$ pour les cylindres horizontaux de rayon r; à $\left(0{,}726 + \frac{0{,}0345}{\sqrt{r}}\right)\left(2{,}43 + \frac{0{,}8758}{\sqrt{h}}\right)$ pour les cylindres verticaux de rayon r et de hauteur h, et à $1{,}764 + \frac{0{,}636}{\sqrt{h}}$ pour les surfaces planes verticales de hauteur h.

ulong a donné la formule suivante pour exprimer la perte de cha- r due au contact de l'air

$$A = m't^{1{,}233}. \qquad (4)$$

excès constant de température ;
nombre que M. Péclet conseille de faire égal à 0,552 k'.

ette formule de Dulong s'accorde parfaitement avec les expériences M. Péclet, et comme elle a été vérifiée pour de grands excès de tem- ature, il y a lieu de l'employer toutes les fois que l'excès de tempé- ure dépassera 65°.

La perte *totale de chaleur due au rayonnement et au contact de* r est donc, par mètre carré et par heure, pour des excès t de tem- ature compris entre 25° et 65° et pour une température de l'en- nte très-peu différente de 12°,

$$M = R + A = kt(1 + 0{,}0056t) + k't(1 + 0{,}0073t), \qquad (5)$$

ou, en négligeant les termes du second degré, ce que l'on peut fa
pour des petits excès t,

$$M = R + A = (k + k')t; \qquad (6)$$

cette dernière formule exprime la loi de Newton.

Dans toutes les autres circonstances, on pourra poser

$$M = R + A = ma^{\theta}(a^{t} - 1) + m't^{1,233}. \qquad (7)$$

Il résulte d'expériences faites sur une grande échelle, que la c
leur transmise par un tuyau renfermé dans un canal parcouru
l'air est sensiblement la même que celle que le tuyau perdrait à l'
libre (formules (5), (6) et (7), en prenant pour t l'excès de la tempé
ture du tuyau sur la température moyenne de l'air qui parcourt
canal. Le rayonnement du cylindre échauffe la surface intérieure
canal, et l'air s'échauffe par son contact avec la surface de ce ca
ce qui fait que la chaleur acquise par l'air est égale à celle que p
le cylindre par contact et par rayonnement. Ce cas se présente d
un grand nombre de calorifères.

La section du canal n'ayant que peu ou point d'influence, s
tuyau circule dans une pièce à chauffer, la chaleur transmise
serve la même expression.

Lorsque l'air qui s'échauffe circule à l'intérieur du tuyau, cir
stance qui se présente dans un grand nombre de calorifères
chaud, le refroidissement du tuyau par rayonnement disparaît c
plétement, et l'on peut admettre, sans erreur sensible, que la q
tité de chaleur transmise à l'air par le tuyau est égale à celle qui
serait dans l'air si le tuyau était exposé à l'air libre, formules
(6) et (7), dans lesquelles t représente, comme dans le cas préc
l'excès de la température du cylindre sur la température moyen
l'air à l'entrée et à la sortie.

4° *Transmission de la chaleur à travers les corps.* La quanti
chaleur qui traverse une plaque à surfaces planes et parallèles,
par mètre carré et par heure,

$$M = (t - t')\frac{C}{E}. \qquad (8)$$

t et t' températures constantes des surfaces de la plaque;
E épaisseur de la plaque en mètres;
C est la valeur de M pour $t - t' = 1°$ et pour $E = 1$ mètre; le tableau s
donne cette valeur pour différents corps.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	DENSITÉS.	VALEURS DE C.
1° *Matières continues, ou dont les parties sont agglomérées.*		
. . . .	»	77.00
ine	»	75.00
es	»	74.00
re	»	69.00
. . . .	»	28.00
. . . .	»	28.00
n.	»	22.00
nb.	»	14.00
rbon des cornues à gaz	1.61	4.96
bre gris à grains fins	2.68	3.48
rbre blanc saccharoïde à gros grains.	2.77	2.78
rre calcaire à grains fins.	2.34	2.08
Id.	2.27	1.69
Id.	2.17	1.70
rre de liais à bâtir à gros grains.	2.24	1.32
Id.	2.22	1.27
tre ordinaire gâché.	»	0.334
Id. très-fin gâché	1.25	0.520
tre de moulage très-fin, gâché.	1.25	0.44
tre aluné, gâché.	1.73	0.63
re cuite	1.98	0.69
Id.	1.85	0.51
is de sapin, transmission perpendiculaire aux fibres.	0.48	0.093
Id. parallèle aux fibres. . . .	0.48	0.170
is de noyer, transmission perpendiculaire aux fibres.	»	0.103
Id. parallèle aux fibres	»	0.174
is de chêne, transmission perpendiculaire aux fibres.	»	0.211
ge	0.22	0.143
outchouc.	»	0.170
tta-percha.	»	0.172
lle d'amidon	1.017	0.125
rre.	2.44	0.75
Id.	2.55	0.88
2° *Matières pulvérulentes.*		
ble quartzeux.	1.47	0.27
rique pilée, gros grains.	1.0	0.139
rique pilée, passée au tamis de soie	1.46	0.165
rique en poudre fine obtenue par décantation. . .	1.55	0.140
raie en poudre un peu humide	0.92	0.108
raie en poudre lavée et séchée.	0.85	0.086
raie en poudre lavée, séchée et comprimée. . . .	1.02	0.103
Fécule de pomme de terre.	0.71	0.098
Cendres de bois.	0.45	0.066
Poudre de bois d'acajou.	0.31	0.065
Charbon de bois ordinaire en poudre	0.49	0.079
Braise de boulanger en poudre passée au tamis de soie.	0.25	0.068
Charbon de bois ordinaire en poudre passée au tamis de soie.	0.41	0.084
Coke pulvérisé	0,77	0.160
Limaille de fer	2.05	0.158
Bioxyde de manganèse.	1.46	0.163

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	DENSITÉS.	VALEURS DE
3° *Matières filamenteuses.*		
Coton en laine, quelle que soit sa densité.	»	0.040
Molleton de coton, *id.*	»	0.040
Calicot neuf, *id.*	»	0.050
Laine cardée, *id.*	»	0.044
Molleton de laine, *id.*	»	0.034
Édredon, *id.*	»	0.039
Toile de chanvre neuve	0.54	0.052
Id. vieille	0.58	0.043
Papier blanc à écrire.	0.85	0.043
Papier gris non collé	0.48	0.034

5° *Transmission de la chaleur à travers les murailles.* Considé d'abord le cas d'une *enceinte fermée par des murailles dont une* *est exposée à l'air extérieur*, et appelons :

t et t' les températures des faces intérieure et extérieure d'une muraille;
T température de l'air intérieur de l'enceinte;
T′ température de l'air extérieur;
$Q = k + k'$;
M la quantité de chaleur qui traverse la muraille par mètre carré et par heure, unités.

Quand le régime est établi, et que l'on a $T > T'$, on a $T > t$, $t >$ et $t' > T'$; de plus la quantité M qui traverse la muraille est égal celle qui pénètre dans la muraille par sa face intérieure et qui sort par sa face extérieure. Il en résulte donc, comme on peut mettre que le réchauffement de la face intérieure et le refroidissement de la face extérieure s'effectuent suivant les mêmes lois, que peut poser à l'aide de la formule (8) et de l'une de celles (5), (6) et trois expressions de la valeur de M, desquelles on peut tirer, en fonctions des quantités connues, non-seulement M, mais aussi les températures t et t' qu'il est impossible de déterminer expérimentalement. Comme, en faisant usage de la formule (7) de Dulong, le calcul rait impossible, et qu'en admettant celle plus simple (5), on arrive à une équation de second degré assez compliquée et d'un usage difficile, M. Péclet a admis la formule (6) de Newton, qui est d'une exactitude suffisante pour de faibles excès de température. Il en sulte que l'on a

$$M = (t - t')\frac{C}{E}, \qquad M = Q(T - t), \qquad M = Q(t' - T');$$

d'où

$$t = \frac{T(C + QE) + T'C}{2C + QE}, \qquad t' = \frac{T'(C + QE) + TC}{2C + QE}, \qquad M = \frac{CQ(T - T')}{2C + QE}.$$

ır un mur de 10 mètres de hauteur, en pierre calcaire, on a

$$C = 1,70, \quad Q = k + k' = 3,60 + 1,96 = 5,56,$$

l'on suppose $T' = 6°$, et $T = 15°$, température ordinaire des lieux tés, ces formules donnent pour

0m,10	0m,20	0m,30	0m,40	0m,50	0m,60	0m,70	0m,80	0m,90	1m,00
11°,15	11°,64	12°,00	12°,31	12°,56	12°,77	12°,96	13°,11	13°,24	13°,29
10°,00	9°,66	9°,38	9°,16	8°,99	8°,83	8°,71	8°,60	8°,50	8°,37
25,40	22,25	19,84	17,85	16,23	14,95	13,81	12,84	12,00	11,20

qui précède suppose que les autres murailles de l'enceinte sont blement à la température de l'air intérieur ; ce qui ne pourrait avoir lieu si toutes les murailles étaient exposés à l'air extérieur. ce cas, toutes les surfaces intérieures étant sensiblement à la ne température, leur rayonnement réciproque est sans influence, on conçoit que pour des valeurs égales de T et T' la quantité haleur transmise, dans les mêmes circonstances, par mètre et par heure, est plus petite que dans le cas précédent. Le rayonnt intérieur étant sans influence, on a

$$M = (t - t')\frac{C}{E}, \qquad M = k'(T - t), \qquad M = Q(t' - T');$$

$$\frac{(Ek'T + CT') + Ck'T}{C(Q + k') + QEk'}, \quad t' = \frac{Q(Ek'T' + CT') + Ck'T}{C(Q + k') + QEk'}, \quad M = \frac{k'CQ(T - T')}{C(Q + k') + QEk'}$$

ur les valeurs précédentes de C, k, k', T et T', on conclut pour

0m,10	0m,20	0m,30	0m,40	0m,50	0m,60	0m,70	0m,80	0m,90	1m,00
8°,86	9°,31	9°,70	10°,03	10°,33	10°,60	10°,83	11°,04	11°,23	11°,24
8°,16	8°,00	7°,86	7°,74	7°,64	7°,55	7°,46	7°,39	7°,32	7°,26
12,01	11,13	10,38	9,71	9,14	8,62	8,16	7,75	7,37	7,03

Transmission de la chaleur à travers les vitres. Examinons les x cas extrêmes : celui où les vitres sont placées dans la seule face l'enceinte exposée à l'air extérieur, et celui où toute l'enceinte est ée et exposée à l'air extérieur.

Dans le premier cas, les rayons de chaleur obscure ne traversent pas le verre, les vitres s'échauffent d'un côté par le rayonnement surfaces intérieures que l'on peut supposer à la température T, par le contact de l'air chaud ; de l'autre côté, elles se refroidist par des causes analogues. En admettant que le réchauffement le refroidissement s'effectuent de la même manière, pour les mêmes excès de température, et en remarquant que, pour les petites aisseurs des vitres, on peut supposer que les quantités de chaleur

transmises sont indépendantes de leur épaisseur (5°), on a, en dé-
gnant par θ la température moyenne de la vitre,

$$M = (T-\theta)Q, \qquad M = (\theta - T')Q;$$

d'où

$$\theta = \frac{T+T'}{2}, \qquad M = \frac{T-T'}{2}Q.$$

De ces formules, en faisant $k = 2,91$ (1°), et $T' = 6°$, $T = 15°$. d
$\theta = 10°5$, on tire, en adoptant pour les hauteurs de vitres :

	1m	2m	3m	4m	5m
k' =	2,40	2,21	2,13	2,08	2,05
M =	23,85	23,04	22,68	22,46	22,32
M =	2,650	2,560	2,520	2,496	2,479

Ces dernières valeurs de M, obtenues en divisant les premières p
15—6, correspondent à une différence $T - T' = 1°$.

Pour une enceinte entièrement vitrée exposée de toute part à l'
extérieur, le rayonnement réciproque ne produisant aucun effet, l
vitres ne sont échauffées que par l'air, et l'on a, en négligeant l'ef
du sol,

$$M = (T-\theta)k', \qquad M = Q(\theta - T');$$

d'où

$$\theta = \frac{k'T+QT'}{Q+k'}, \quad M = \frac{Qk'(T-T')}{Q+k'}.$$

Formules desquelles on tire, pour $T' = 6°$, $T = 15°$ et pour les h
teurs de vitres,

	1m	2m	3m	4m	5m
M =	14,85	13,86	13,41	13,23	13,05
M =	1,65	1,54	1,49	1,47	1,45

Ces dernières valeurs de M sont pour une déférence $T - T' = 1°$
Les deux cas extrêmes que nous venons d'examiner pour les vitr
de même que les cas analogues pour les murailles (5°), ne se réal
sent jamais entièrement dans la pratique. Dans le premier cas, l
murs en face des vitres ont toujours une température inférieur
celle de l'air; dans le second, il y a toujours une partie de l'encei
qui n'est pas vitrée; et quand le chauffage a lieu en partie par
rayonnement des surfaces échauffées, les rayons qui arrivent dir
tement sur les vitres augmentent la quantité de chaleur qu'ell
transmettent. Mais dans la pratique la chaleur transmise sera to
jours comprise entre les limites assignées à ces cas extrêmes.

7° *La quantité de chaleur perdue par le sol* est en général très-p
tite, comme l'expérience le prouve, et elle peut être négligée da
l'établissement des appareils de chauffage. Dans nos climats la tem
pérature du sol étant à peu près constante à 8 mètres de profo

t égale à la température moyenne annuelle de 10 à 11°, il en que la température du sol des édifices doit être bien voisine dernière, qui diffère peu de celle intérieure habituelle de 15°. nant à l'*influence de la partie supérieure des pièces*, les édifices s et les maisons particulières étant toujours recouverts d'une et d'un plancher épais de grenier, il en résulte qu'on peut né- la perte de chaleur par la partie supérieure des édifices.

ransmission de la chaleur à travers les enveloppes cylindriques. is est celui, par exemple, d'un tuyau métallique parcouru par de ur et enveloppé d'une matière conduisant mal la chaleur. On a

$$M = \frac{2\pi R'C(k+k')(T-T')}{C+(k+k')R'N}.$$

quantité de chaleur transmise par unité de longueur de tuyau et par heure;
log R' — log R).;
$\frac{1}{434295}$ = 2,3026 nombre par lequel il faut multiplier le logarithme d'un nombre pour avoir son logarithme népérien (*Int.*, 385);
rayons extérieurs du tuyau et de l'enveloppe;
températures intérieure et extérieure;
coefficient de conductibilité de l'enveloppe (4°);
coefficients dus au rayonnement et au contact de l'air (1° et 2°); si la matière enveloppante est couverte de toile, $k = 3.65$, et k' se déduit de la formule donnée au 2° pour les cylindres horizontaux.

. *Chauffage des appartements par les cheminées ordinaires.* La ité de chaleur rayonnée dans l'appartement par un foyer ordi- de cheminée est à peu près le 1/4 de la chaleur totale rayonnée combustible; ainsi, pour le bois, elle est seulement les 0,06 07 de la chaleur totale développée par sa combustion (302 et 314). s combustibles les plus convenables pour ce mode de chauffage la houille et le coke, dont les pouvoirs rayonnants sont très- ds 310 et 311). La cheminée ouverte n'utilise cependant qu'en- les 0,13 de la chaleur totale développée par ces combustibles. peut admettre que dans les cheminées ordinaires 1 kilog. de exige au moins l'appel de 100 mètres cubes d'air, et 60 mètres celles qui sont le mieux construites (312).

diamètre d'une cheminée ordinaire d'appartement varie de 0m,20 ,25. Rarement il convient de dépasser cette limite, à moins que les appartements destinés à recevoir un grand nombre de per- les; dans ce cas, afin de faciliter la ventilation, on porte ordinai- ent la section des cheminées à 25 ou 27 décimètres carrés, 0m,30 m,32 environ.

ns les cheminées à la Rumfort, l'ouverture inférieure du tuyau née varie de 0m,04 à 0m,06 de section. Dans les cheminées à la mond, la distance du tablier au contre-cœur est de 0m,15, et à une

hauteur de 0m,30, le contre-cœur porte des briques qui
plus à l'ouverture que 0m,05 de largeur.

D'après des expériences faites par les membres du com
tatif, les proportions de charbon nécessaires pour ma
même salle à la même température pendant le même t
100 pour les cheminées ordinaires, 13 pour les poêles n
et de 13 à 16 pour les appareils analogues aux poêles, m
ouverts.

Dans le choix des différents modes de chauffage, il faut
selon les circonstances, non-seulement à la chaleur uti
aussi à la ventilation produite.

386. *Chauffage par des poêles* (354). Lorsqu'un tuyau
circule de la fumée chauffe directement l'air extérieur,
mettre que la quantité de chaleur qui passe à travers se
proportionnelle à la différence des températures intérie
rieure, et, des expériences de M. Péclet sur les chemin
en fonte et en terre, il résulte qu'un mètre carré de su
passer en une heure, pour une différence de température
3,93 unités de chaleur pour la tôle, 9,9 unités pour la f
unités pour la terre cuite de 0m,01 d'épaisseur.

D'après cela, supposant que dans un poêle la fumée soit
à 200°, on peut même, avec de bonnes dispositions, l'am
100° avant de la laisser s'échapper au dehors, sa temp
environs du foyer étant au moins de 800°, sa températu
est de 500° pendant la chauffe, et l'excès de température
à 500°; d'où il résulte que, dans ce cas, chaque mètre ca
face de chauffe laisse passer en une heure, pour un excè
450°, 1768,5 unités de chaleur pour la tôle, 4455 pour l
1732,5 pour la terre cuite de 0m,01 d'épaisseur.

Cette énorme différence des quantités de chaleur qui pa
vers la tôle et la fonte n'existe pas dans le chauffage par l
la vapeur.

Les résultats précédents peuvent servir à calculer la
chauffe d'un poêle ou d'un calorifère, les tuyaux parco
fumée ayant la section minimum de la cheminée (317), et
tible produisant un effet utile égal aux 0,80 de sa puissance
Dans la pratique, on compte ordinairement sur un mètre ca
face de chauffe en tôle ou en fonte, quoique pour cette d
puisse être beaucoup moindre, par 100 mètres cubes de
salle à chauffer.

Le diamètre des tuyaux de poêle peut se calculer comm
cheminées; mais il vaut mieux généralement s'en tenir a
sions 0m,10 à 0m,20 adoptées dans la pratique.

On donne un degré suffisant d'humidité à l'air, en plaça

d'eau sur le poêle ou dans les conduits d'air chaud. La quantité
est de 1 à 1,5 litre environ par jour pour une salle de 75 à 80
es cubes.

7. *Calorifères à air chaud.* L'air à échauffer doit toujours être
à l'extérieur, et pour les calorifères placés dans les pièces qu'il
ent chauffer et ventiler, tels que ceux que l'on emploie depuis
que temps dans les écoles, il faut compter sur un mètre carré de
ce de chauffe par kilogramme de houille ou par 2 kilogrammes
is brûlés à l'heure, sans compter l'enveloppe extérieure.

ur les calorifères non placés dans les pièces qu'ils doivent chauf-
t ventiler, la quantité maximum de combustible à brûler se dé-
ine en supposant que son effet utile est les 0,50 ou 0,55 de sa puis-
e calorifique (314); cet effet utile atteint les 0,75 et même les 0,80
r les calorifères les mieux construits. La grille, pour une même
ntité de combustible brûlée, a la même surface que pour les chau-
es à vapeur (322), mais il vaut mieux augmenter cette surface que
a diminuer. La section de la cheminée et des canaux de circula-
se calcule comme pour les chaudières à vapeur (317), en suppo-
égale à 200° la température de la fumée dans la cheminée. La
ce de chauffe réelle est de 2 mètres carrés par kilog. de houille
kilog. de bois à brûler par heure.

a quantité d'eau à donner par jour pour entretenir l'humidité est
,5 à 2 litres pour une salle de 100 mètres cubes.

s tuyaux qui conduisent l'air chaud dans les diverses pièces à
ffer doivent, autant que possible, partir tous du réservoir même
chaud, afin qu'ils ne se gênent pas mutuellement. Deux tuyaux
chés l'un sur l'autre ne doivent pas se servir d'obturateur; aussi
-il, dans ce cas, faire usage d'une culotte. Les dimensions des tuyaux
vent être grandes; la vitesse de l'air ne doit pas être supérieure à
0 en moyenne, les coudes et les étranglements des clefs compensés.
es bouches doivent être larges et maillées avec du fil de fer ou de
re très-fin, à grandes mailles de 0m,005 au moins de côté. Les bou-
s à coulisses sont plus commodes pour régler l'ouverture que
es à charnières.

ans un moyen d'évacuation de l'air de la salle, l'air chaud ne peut
s'y introduire. L'appel peut se faire par la cheminée, quand il y en
ne, ou par une cage d'escalier contigu, à l'aide d'une bouche gril-
ée de communication. Dans les salles à manger ou les antichambres,
peut placer au plafond ou près du plafond une bouche grillagée qui
mmunique, par un tuyau de 0m,15 à 0m,16 de diamètre, avec un
au de tôle montant de 2 mètres dans la cheminée de la cuisine ou
s toute autre cheminée constamment chauffée.

uand on chauffe plusieurs étages avec un seul calorifère, les étages
érieurs absorbent tout l'air sans rien laisser au rez-de-chaussée; on

remédie à cet inconvénient à l'aide de coulisses ou en d
cloisons le réservoir d'air chaud en autant de parties qu
Il convient, quand cela est possible, que le tuyau qui
chaque étage circule sous le plafond de l'étage inférieu
convenablement distribuées sur sa longueur amènen
pièce en traversant le plancher. Cette disposition nous
réussi dans une fabrique de papiers peints, où l'on a
chauffer et sécher.

Pour pouvoir chauffer un rez-de-chaussée, le calo
établi dans une cave en contre-bas; sans cela l'air cha
mal dans la pièce, il n'y va même pas si l'on chauffe e
des étages supérieurs.

Lorsqu'on fait arriver l'air chaud dans une pièce t
phithéâtre par un grand nombre d'orifices placés sou
section de ces orifices doit être calculée de manière qu
l'air ne dépasse pas $0^m,20$ par seconde.

Il n'y a guère que dans les hôpitaux qu'il soit nécessai
une température constante jour et nuit. On y parvien
bustion continue dans les foyers, ou par des réservoirs
mulent de la chaleur développée le jour pour la dégag
nuit. Mais, à moins que les murailles n'aient qu'une bi
seur, la chaleur qu'elles renferment est presque toujours
rendre peu sensible la diminution de température p

En général, quand les murailles sont d'une certaine
chauffages de nuit sont inutiles, et presque toujour
actif d'un petit nombre d'heures le matin peut répa
partie la perte du régime qui a eu lieu pendant la nu

Quand les murailles n'ont qu'une faible épaisseur, co
taines usines, elles se refroidissent beaucoup pendan
on parvient encore facilement à les échauffer en allu
un certain nombre d'heures avant l'arrivée des ouvri

Lorsque les pièces ne sont employées que certains
taines heures, pour économiser le combustible, on ne
les murailles dans un état constant de température,
même pas l'équilibre au moment de les utiliser; on se
un chauffage très-vif de quelques heures, d'échauffer pa
murailles, et de compenser leur faible température par
échauffement de l'air pendant l'occupation des pièces

Les différentes parties des appareils de chauffage se co
les jours les plus froids de l'hiver, et de manière que l
petit nombre d'heures, ils puissent amener l'air et les m
à la température qu'ils doivent avoir pendant le jour. Il e
de disposer les appareils de manière que, pendant ce c
minaire, on puisse interrompre la ventilation; ainsi

tant à air chaud, il convient de pouvoir faire aller successivement l'air de la salle au calorifère et du calorifère à la salle.

358. *Chauffage de l'air par la vapeur.* D'après des expériences de Tredgold, les quantités de vapeur condensées en une heure par mètre carré de surface d'un tuyau exposé à l'air libre à 15° sont, pour les tuyaux (345)

de fer blanc.	1k.07
de verre.	1 .76
de tôle neuve.	1 .80
de tôle rouillée.	2 .40

D'après Clément, la température de l'air étant 25°, un mètre carré de surface condense en une heure les poids de vapeur consignés dans le tableau suivant. La dernière colonne donne, d'après la loi du n° 325, les poids de vapeur qui seraient condensés si la température de l'air était de 15°.

DÉSIGNATION DES SURFACES.	CONDENSATION, la température de l'air étant de	
	25°	15°
	k	k
Tuyau horizontal en fonte nue	1.60	1.81
Id. *id.* noircie.	1.50	1.70
Id. en cuivre nu.	1.30	1.47
Id. *id.* noirci.	1.50	1.70
Tuyau vertical en cuivre noirci.	1.75	1.98

Dans les grands chauffages à vapeur, on peut compter sur 1k,80 de vapeur condensée en une heure par mètre carré de surface pour la fonte, et sur 1k,75 pour le cuivre.

D'après M. Grouvelle, un mètre carré de surface de fonte, chauffé intérieurement par la vapeur, et par conséquent les 990 unités de chaleur transmises par 1k,80 de vapeur condensée, suffisent pour chauffer et entretenir à 15° une salle de proportions de murs et de fenêtres ordinaires, telle que bibliothèque, bureau, etc., de 66 à 70 mètres cubes de capacité, ou un atelier de 90 à 100 mètres cubes. Si l'atelier a besoin d'une haute température, on prend un mètre de surface de chauffe par 40 mètres de capacité. Pour la Bourse de Paris, on a compté sur 67 mètres, qui chauffent convenablement.

Le diamètre des tuyaux de condensation de la vapeur à basse pression varie de 0m,07 à 0m,20; 0m,11 est le diamètre convenable lorsque le générateur est de la force de 12 chevaux. Le tuyau qui amène la vapeur de la chaudière est beaucoup plus petit; en Angleterre, on fait

ce tuyau en fer creux, et on lui conne de 3 à 5 centim. de diamètre; en France, on le fait généralement en cuivre.

Lorsque, par suite de circonstances indépendantes du chauffage, la pression dans le générateur est élevée, de 2 atmosphères et au-dessus, d'après M. Grouvelle, le diamètre intérieur du tuyau de condensation doit être égal à un minimum de 0^m,035, augmenté de 0^m,0015 par force de cheval du générateur employé. Ainsi, pour une force de 10 chevaux, c'est-à-dire pour 200 à 250 kilog. environ de vapeur à l'heure, le diamètre sera 0^m,05.

Connaissant le volume en mètres cubes d'air froid à chauffer dans un certain temps, en le multipliant par le poids d'un mètre cube (§ 281), on a le poids total d'air à chauffer; ce poids, multiplié par la capacité calorique de l'air (286) et par la différence des températures de l'air chaud et de l'air froid, donne la quantité de chaleur à fournir à l'air. Cette quantité de chaleur divisée par 550, chaleur latente de vaporisation (288), donne la quantité de vapeur condensée. On détermine la quantité de charbon à brûler (314), et par suite les dimensions de la grille (322), des conduits de fumée et de la cheminée (317).

Pour le chauffage des ateliers par la vapeur, les ingénieurs admettent que, pour des ateliers de 8 mètres de largeur sur 3 mètres de hauteur, et dont la surface des vitres est le 1/6 de la surface totale, un tuyau en fonte de 0^m,40 de circonférence, parcourant seulement une fois la longueur de l'atelier, suffit pour y maintenir une température constante de 15° pendant les temps les plus froids. Cela fait une surface de chauffe de 0^{mc},40, qui peut transmettre 396 unités de chaleur en une heure, par mètre courant d'atelier.

D'après des observations de M. Péclet sur plusieurs chauffages à vapeur, et notamment sur un chauffage de grande fabrique, pour une différence maximum de 20° entre les températures intérieure et extérieure, il faudrait calculer la puissance des appareils de chauffage en comptant sur 70 unités de chaleur à fournir en une heure par mètre carré de surface de muraille de 0^m,33 à 0^m,35 d'épaisseur, et sur 80 unités par mètre carré de surface de vitre (354).

389. *Calorifères à eau chaude et à basse pression.* Nous allons calculer les dimensions d'un tel calorifère destiné à émettre 36000 unités de chaleur eu une heure ou 10 unités par seconde; la température de l'eau étant de 80° dans la chaudière et dans la colonne ascensionnelle, qui a 2 mètres de hauteur verticale; de 55° en moyenne dans le tuyau de chauffe, que l'on suppose avoir une pente totale de 2 mètres, uniforme sur tout son circuit, et enfin de 30° en rentrant dans la chaudière.

Chaque kilog. d'eau perdant 50 unités de chaleur dans sa circulation, le poids d'eau qui doit sortir de la chaudière en une seconde est

= $0^l,2$, dont le volume moyen dans le tuyau est, en prenant 000466 pour coefficient de la dilatation absolue de l'eau pour 1° (279),

$$0,2(1 + 0,000\,466 \times 55) = 0,205\,1 \text{ de litre.}$$

En admettant que la quantité de chaleur que laisse passer la surce de chauffe, à égalité de différences de températures, est à peu près même que pour la vapeur (358), chaque mètre carré de surface de nte laisse passer en une heure, pour la différence 40° entre la temrature 55° de l'eau et celle 15° de l'air, $1,80 \times 550 \frac{40}{85} = 466$ unités de aleur. La surface de chauffe nécessaire pour laisser passer les 36000 ités de chaleur est donc

$$\frac{36000}{466} = 77,25 \text{ mètres carrés.}$$

Le diamètre d'un tuyau de chauffe étant $0^m,09$, sa circonférence est ,2826 (*Int.*, 667), et, par suite, sa longueur sera $\frac{77,25}{0,2826} = 273$ mètres. enant 5 mètres pour les parties qui sont en dehors de la pièce à hauffer, et qui comprennent la colonne ascendante et les raccordents du tuyau de chauffe avec cette colonne et la chaudière, on a 8 mètres pour le développement total de la circulation.

La vitesse de circulation de l'eau dans les tuyaux est due à la différce des pressions produites par deux colonnes d'eau de 2 mètres de uteur verticale, l'une à 55° en moyenne et l'autre à 80°, cette différnce étant exprimée par une hauteur d'eau à 55°. Or, la première, st-à-dire la colonne descendante, presse, par décimètre carré de ction, de $\frac{1}{1 + 0,000\,466 \times 55} 20 = 19^k,50$, et la colonne ascendante, $\frac{1}{1 + 0,000\,466 \times 80} 20 = 19^k,28$; par conséquent, la vitesse de cirlation est due à une hauteur d'eau à 55° correspondant à $0^k,22$. En u froide, cette colonne serait $0^m,022$; en eau à 55°, elle est

$$0,022(1 + 0,000\,466 \times 55) = 0^m,022\,56;$$

qui fait $0^m,000\,081\,15$ par mètre courant de tuyau.

Consultant le tableau du n° 178, on voit que sous la charge 000 077 21 le diamètre $0^m,09$ débite $0^l,3181$ par seconde; ce diamètre donc grandement suffisant pour l'application qui nous occupe. Il st cependant pas aussi exagéré qu'il paraît l'être; d'abord à cause changements de direction des tuyaux, et ensuite parce que la rétance étant proportionnelle au carré de la vitesse, le tableau du 178 donne, dans ce cas, une résistance ou charge trop faible, en la nnant pour la vitesse moyenne dans la conduite.

Pour chauffer un atelier de 13 mètres de largeur sur 3m,25 de hauteur, une seule allée d'un tuyau de 0m,16 de diamètre sur toute la longueur de l'atelier paraît suffisante, la température de l'eau étant de 75 à 80° (358). En général, dans la pratique, l'eau étant à 80° et l'air à 15°, c'est-à-dire la différence étant de 65°, il convient de considérer 1mc,50 à 1mc,75 de surface de chauffe comme l'équivalent de 1 mètre carré à la vapeur, et de chauffer 35 à 40 mètres cubes de salle ou de maison d'habitation par mètre carré de fonte. Cependant M. Grouvelle admet que 1 mètre carré de fonte chauffé, soit à la vapeur, soit par une circulation à 80 ou 90°, entretient à 15° 80 mètres cubes d'atelier, et condense par heure 1k,60 de vapeur.

On suivrait une marche analogue pour chauffer une pièce quelconque à l'aide de l'eau de condensation d'une machine à vapeur, qui est ordinairement à 36 ou 40°; seulement, dans ce cas, on élèverait l'eau mécaniquement.

Au lieu de chauffer directement l'eau à l'aide d'un foyer, M. Grouvelle a imaginé d'employer la vapeur; ce qui est surtout avantageux pour les grands ateliers qui demandent plusieurs circuits, comme, par exemple, les filatures, qui sont à plusieurs étages. Le réservoir d'eau est formé par la colonne montante, qui s'élève jusqu'à l'étage supérieur, et il est parcouru dans toute sa hauteur par le tuyau qui amène la vapeur du générateur. Sur ce réservoir s'embranchent les tuyaux de chauffe qui parcourent chacun un étage dans toute sa longueur. L'eau part du réservoir par les tuyaux de chauffe des étages supérieurs et y rentrent par ceux des étages inférieurs. Des robinets permettent de régler la circulation de l'eau dans chaque tuyau selon les besoins du chauffage.

360. *Calorifères à eau chaude et à haute pression.* On distingue le système mis en pratique par M. Duvoir, et le système Perkins. Dans le premier, la pression est portée jusqu'à 5 atmosphères, et dans le second, elle atteint une limite beaucoup plus élevée.

Un procédé de M. Duvoir consiste à chauffer l'air extérieur en le faisant passer sur des tuyaux dans lesquels circule l'eau chaude; cette disposition, d'un heureux effet, est employée depuis longtemps en Angleterre. Une autre disposition de M. Duvoir, et qui forme la base de tous ses appareils, consiste dans un système de *poêles à eau*, placés dans les salles mêmes, et chauffés en les faisant traverser par une seule circulation d'eau dont ils font partie intégrante : l'eau passe d'un poêle à l'autre par l'intermédiaire d'un tuyau.

Le système Perkins est formé d'une seule circulation d'eau par un tuyau d'un petit diamètre; ce qui le rend peut-être moins dangereux que celui de M. Duvoir, quoique la pression y soit beaucoup plus élevée.

Les tuyaux employés à la fabrication de ce dernier genre de calorifères sont en fer creux, et ont 0m,025 de diamètre extérieur et 0m,012

intérieur. Ces tuyaux sont composés de bouts qui ont
longueur et qui sont vissés entre eux. On les essaye à
ières de pression ; mais, théoriquement, ils peuvent sup-
pression supérieure à 3000 atmosphères (190 ou 334).
calorifères construits en Angleterre, la température de
rtie supérieure du circuit varie de 150 à 200°, ce qui cor-
s pressions de 4,50 à 15 atmosphères (292) ; mais dans le
bes atteignant quelquefois la température rouge, la pres-
ucoup plus grande (277, 292). A la partie inférieure de
escendante, près du foyer, la température n'est que de

ppement total d'une circulation n'excède jamais 150 à
si la surface de chauffe exige une plus grande longueur,
plusieurs circulations, qui peuvent être chauffées par le

ur de tube renfermée dans le foyer est le 1/6 environ de
totale du circuit. La capacité du réservoir d'expansion,
rtie supérieure du circuit, doit être au moins les 0,15 de
otale des tubes.
erre, on compte sur 2 pieds de longueur de tuyau pour
pieds cubes de capacité ; ce qui revient à peu près, en
oyenne entre 0^m,025 et 0^m,012 pour le diamètre de la sur-
ffe, à 1 mètre carré de surface de chauffe pour 80 mètres

ssage s'opère généralement au moyen d'une pompe fou-
ert à essayer l'appareil sous une pression d'au moins
ières.
ce prouve qu'il y a perte d'eau dans ces calorifères, et
s grands appareils, il faut ajouter 1/2 litre d'eau tous les
rs.
, M. Gandillot établit ces calorifères à 9 fr. le mètre cou-
tout compris. Les tubes ont de 0^m,03 à 0^m,04 de diamètre ;
nés de bouts réunis par des manchons à vis, et ils résis-
n à des pressions de 40 atmosphères et plus.
uffage des liquides. Lorsqu'on chauffe directement un li-
une chaudière à l'aide d'un foyer placé dessous, la surface
peut encore se calculer d'après la considération qu'un
de cette surface laisse passer la quantité de chaleur né-
ir vaporiser de 15 à 20 kilog. d'eau en une heure (327) ;
vient de prendre un mètre carré de surface de chauffe
kilog. de houille ou 6 à 10 kil. de bois à brûler par heure.
ntes parties du fourneau se déterminent comme pour les
à vapeur ordinaires (317 et 322).
des bains. Supposons qu'il s'agisse de déterminer la quan-

tité de charbon nécessaire pour chauffer l'eau dépensée p
l'eau froide étant à 5°.

Une baignoire contenant de 280 à 300 kilog. d'eau à 3
tité de chaleur dépensée est, pour chauffer l'eau de
300 × 25(30 — 5) = 187 500 unités, qui absorberont à peu
de houille; on peut utiliser 6000 unités de chaleur par
de houille.

On ne chauffe qu'une partie de l'eau, et on l'élève à la
de 70° à 80°; le poids d'eau à échauffer de 5° à 80° est al
25 bains, $\frac{187\,500}{75} = 2500$ kilog.

362. *Chauffage des corps solides*. Dans les fours destin
fonte, la quantité de chaleur utilisée, c'est-à-dire absorbée
pour s'échauffer et se fondre, n'est que les 0,14 de la chale
veloppée par le combustible. (0,3 kilog. de coke pour fo
de fonte, lequel, projeté dans 20 kilog. d'eau, en élève la
de 14°. *Traité de la chaleur*, par M. Péclet.) M. Grouvelle
quantité de chaleur utilisée à 0,20 dans les fours de fusion
à 0,05 dans les fours à puddler, ainsi que dans les fours
les fers et les tôles, et à 0,02 dans les fours de verreries e
cuire les poteries, les porcelaines, etc. (333).

D'après des expériences de M. Ebelmen, la quantité
qu'emportent les gaz est les 0,62 de la puissance calorifi
bustible pour le haut-fourneau de Clairval, marchant a
bois, et les 0,67 pour celui d'Audincourt, marchant avec
de bois et de charbon de bois. Cette perte est plus consi
les hauts-fourneaux au coke; ainsi, on brûle de 140 à
coke pour 100 kilog. de fonte dans ces derniers, au li
160 kilog. de charbon que l'on brûle dans les premiers (

Dans les fours continus destinés à le fabrication de l
emploie 1 volume de houille ou 1 volume 1/2 de coke pour
pierre à chaux. Les petits fours donnent 12 hectolitres d
jour et les plus grands de 90 à 100 hectolitres.

On brûle de 135 à 210 kilog. de bois par mètre cube d
du poids de 1500 à 1600 kilog.

Lorsqu'on cuit le plâtre au moyen des gaz perdus dan
tion du coke (311 et 332), il conviendrait de faire arrive
un courant d'air qui en opérerait la combustion, et au
flamme, un second courant d'air qui amènerait les gaz rés
combustion à 200 ou 300°, attendu que la cuisson du pl
à 100°. (Consulter la 5e partie.)

VENTILATION.

nécessaire à la respiration. D'après les expériences de
n homme, par sa respiration, transforme en acide car-
heure, tout l'oxygène contenu dans 90 litres d'air, et le
qu'il expire est de 333 litres, qui contiennent à peu près
arbonique.

cié par la transpiration. Il résulte des expériences de
I. Dumas, qu'un homme, par sa transpiration cutanée et
produit en une heure 37,5 grammes de vapeur d'eau,
tre dissous par 5^{mc},846 d'air à 15° et déjà moitié saturé
a quantité d'air que vicie un homme en une heure, par
et sa transpiration, est donc moyennement de 6^{mc},179.
introduisant 6 mètres cubes d'air par élève, dans une
rue Neuve-Coquenard, et contenant ordinairement
remarqué que l'air intérieur n'avait jamais d'odeur. Les
e M. Leblanc, dans une salle contenant 180 élèves, con-
ésultats de M. Péclet. Une ventilation de 6 à 7 mètres
une heure, par individu, suffisait pour la salle des
chambre des députés, qui contenait 1000 à 1100 per-

pareils de chauffage et de ventilation d'édifices publics
n°s 368 et suivants, on s'est basé sur des nombres plus
ux qui précèdent.

cié par l'éclairage. Dans la combustion des matières
l'éclairage, on peut admettre que l'air qui alimente la
'est brûlé qu'au 1/3.

*poids de quelques matières brûlés en une heure, des volumes d'air
à la combustion, et des quantites relatives de lumière produites.*

...ATION DES MATIÈRES.	POIDS brûlé.	VOLUME D'AIR brûlé au tiers.	LUMIÈRES relatives.
	gr.	m. c.	
...ix à la livre.	11	0.322	11
. . . .	11	0.322	14
...c.	42	1.266	100

permet de calculer la quantité d'air vicié par l'éclairage
e pièce, et comme, d'après les n°s 363 et 364, on a les
r viciées par la respiration et par la transpiration des
est donc facile de déterminer la quantité d'air à intro-

duire dans une pièce contenant un nombre déterminé de
et dont l'éclairage artificiel consomme un poids donné d
d'huile.

L'air vicié par la respiration et la transpiration est en
à l'alimentation du foyer de chauffage, qui, dans les ap
chauffés par le rayonnement du combustible, suffit gén
l'appel de tout l'air nécessaire à la ventilation.

366. *Chaleur produite par la respiration.* D'après M.
quantité de carbone brûlée en une heure par l'acte de la
d'un homme est de 10 grammes; la chaleur développée
80,8 unités (302). Une partie de cette chaleur est employ
les 37,5 grammes de vapeur fournis par la transpiration (3
80,8 — 0,0375 × 612,6 = 57,8 unités est employé à chau
vironnant, et il joue un grand rôle dans le chauffage d
bités (288). En effet, pour porter de 0° à 20° les 6 mètre
consommés en une heure par la respiration et la transp
homme (363 et 364), il suffit de 6 × 1.3 × 20 × 0,238 =
chaleur (44 et 286), c'est-à-dire moins que l'excès 57,8 u
nant de la respiration. De là, il résulte que s'il n'y avai
froidissement par les parois d'une pièce habitée dont l'a
préalablement porté à 20°, cette température resterait c
y introduisant $\frac{6 \times 57,8}{37} = 9,37$ mètres cubes d'air à 0°, p
et par heure.

367. *La température du corps humain* est de 37°; c
seaux, de 43° à 44°; celle des mammifères, de 37° à 40°,
poissons, de 14° à 25°.

EXEMPLES D'ÉDIFICES PUBLICS CHAUFFÉS ET VENTILÉS

368. *Chauffage et ventilation de la prison cellulair*
de celle de Provins. Les nombres de ce numéro et des su
le chauffage et la ventilation, sont extraits du *Suppléme*
conde édition du Traité de la chaleur, de M. Péclet.

1° La commission chargée d'examiner les projets de c
de ventilation de la prison cellulaire Mazas a adopté l
M. Grouvelle, basé sur le principe de la circulation de l'e
avec le secours de la vapeur comme moyen de transmi
chaleur aux réservoirs alimentant la circulation de l'ea
tuyaux de chauffage (359), mais en apportant au projet le
tions suivantes :

ter à 40 mètres cubes par heure le volume d'air à fournir à chaque cellule de) mètres cubes de capacité;
ver à 15° la température constante des cellules;
blir une double circulation d'eau chaude, et en sens contraire, dans le canal de hauffage, afin qu'en chaque point du circuit la température moyenne des tuyaux ut sensiblement constante;
ablir la ventilation des cellules par les tuyaux de descente des matières fécales.

ventilation des 1200 cellules, divisées en 6 bâtiments d'un rez-de-ssée et de 2 étages, est produite par une cheminée d'appel en ies, de 2^m,15 de diamètre intérieur et de 29 mètres de hauteur, e au centre des six bâtiments à cellules. La cheminée des trois rateurs est en tôle et placée au centre de la cheminée d'appel; liamètre est de 0^m,80.

commission chargée de la réception des travaux de M. Grouvelle mmé une sous-commission composée de MM. Péclet, Leblanc et avin pour les expérimenter. Voici l'extrait des résultats obtenus:

s expériences ont eu lieu du 14 février 1850 au 30 avril 1851, et ont fourni des ésultats aussi réguliers que possible pour le chauffage des différents étages;
ppel par la cheminée s'est élevé à 30 000 mètres cubes par heure; ce qui correspond à un renouvellement d'air de 25 mètres cubes par cellule, au lieu de 40 mètres cubes, limite inférieure exigée par le cahier des charges;
température a été maintenue pendant l'hiver entre 13° et 16° dans tous les bâtiments occupés, corridors et cellules;
ur un chauffage continu de 12 jours et 12 nuits, la température extérieure étant le 7°,5, et la vapeur venant se condenser dans les serpentins placés dans les réservoirs d'eau chaude étant maintenue entre 2 et 3 atmosphères, la température des cellules s'est élevée jusqu'à 19°.50 et 20°,72 au rez-de-chaussée, et jusqu'à 20°,94 et 23°,31 au premier étage. Les différences entre les températures d'un même étage proviennent de l'orientation des cellules;
endant l'hiver de 1849-50, dans des expériences faites dans les caves de ventilation, pour une consommation de 13^k,50 de houille par heure dans le foyer d'appel, on a expulsé 14 800 mètres cubes d'air par heure, et pour une consommation de 22^k,33 de houille dans le même temps, la ventilation s'est élevée à 24 700 et 30 900 mètres cubes. Pendant les plus grandes chaleurs de l'été 1850, pour 20 kilog. de houille, la ventilation a varié de 22 900 à 25 000 mètres cubes;
endant l'hiver de 1850-51, dans des expériences de ventilation générale: 1° L'air expulsé s'est élevé à 29 200 mètres cubes pour 20 kilog. de houille brûlés par heure dans le foyer d'appel; 2° La fumée étant bien refroidie sous des plaques de fonte avant d'arriver à la cheminée des générateurs, cette cheminée a peu d'influence sur la ventilation générale; ainsi, après une interruption de chauffage de vingt-quatre heures, la ventilation de 29 200 n'a descendu qu'à 28 200; 3° La consommation du foyer d'appel ayant été réduite de 20 kil. à 15 kilog. par heure, la quantité d'air expulsée a été trouvée comprise entre 28 100 et 31 500 mètres cubes; cette faible diminution est due au peu d'influence de l'activité du foyer sur le tirage de la cheminée au-delà d'une certaine limite;
endant l'hiver de 1850-51, pour les bâtiments dans lesquels les prises d'air étaient ouvertes sur le corridor, la consommation de houille pour le chauffage a été de 400 kilog. par bâtiment et par jour, pour obtenir une température moyenne intérieure de 15°,15, avec une température extérieure de 3°,89, c'est-à-dire pour un excès de 11°,25. Pour les bâtiments dont les prises d'air étaient extérieures, la

consommation a été de 500 kilogrammes de houille pour obtenir
moyenne intérieure moins élevée de près de 1 degré. Le chauff
tration a exigé 150 kilog. de combustible par jour pour les mê
atmosphériques.

Pendant les sept mois de chauffage, la températur
Paris étant 6°,5, admettant 14° pour température moyen
c'est-à-dire un excès de 7°,5, la consommation moyenne
sera de 270 kilog. de houille, et 100 kilog. pour l'a
Ainsi, la dépense totale sera de 270 × 6 + 100 = 1720 k

Quant à la ventilation, la dépense moyenne de com
350 kilog. par jour d'hiver, et de 400 kilog. par jour le
née ; mais pour obtenir une ventilation de 30 000 mèt
heure, la consommation de combustible est de 20 kilog
hiver et 25 kilog. en été.

Les murs ont 0m,60 d'épaisseur, et leur surface tota
contact de l'air est à peu près de 13 000 mètres carrés
les surfaces des voûtes et du sol, qui transmettent pe
La surface totale des vitres est de 2173 mètres carrés.

Admettant que M = 15, pour la quantité de chaleur
mètre carré de muraille et par heure (5° du n° 354), e
la transmission des vitres dans les mêmes circonstance
tale de chaleur par les vitres et les murailles sera 15 ×
2173 = 242806 unités.

Pour élever 30000 mètres cubes d'air de 7°,5 à 14°,
laquelle il sort des cellules, il faut 1,3 × 6,5 × 0,2
60333 unités de chaleur.

La chaleur produite par les 1200 détenus est 50 × 1200 =
La chaleur que doit fournir le calorifère est alors 242
60000 = 243139. Chaque kilogramme de houille produ
utile de 3 750 unités, on brûlera par heure 64k,83 de h
jour 64,83 × 24 = 1556 kilog., au lieu de 1 620 kilog. qu
périence.

2° La prison cellulaire de Provins a la même disp
prison Mazas, mais elle ne contient qu'un bâtiment et 3
lement. Les appareils de chauffage ont aussi été établis
velle, et d'après la disposition de la prison Mazas, si
chaudière chauffe directement l'eau chaude de circulat
chaleur de la fumée de la chaudière qui produit la
hiver; en été, un foyer spécial d'appel produit la venti

La cheminée du calorifère a 0m,31 de diamètre, et
5 mètres dans la cheminée d'appel, qui a 18 mètres de h
de diamètre à la base et 0m,60 au sommet.

Les murailles ont 0m,60 d'épaisseur moyenne et 1059
de surface. La surface des vitres est de 107m,50.

périences faites du 15 mars au 6 avril par M. Gentil-
npérature moyenne pendant le jour étant de 6° et les
des, la température moyenne de la journée a été de
cellules, de 15°,16 dans la galerie donnant entrée aux
8° dans le greffe. La température moyenne a été de 1°
ns les cellules exposées au midi que dans celles expo-

était toujours suspendu pendant la nuit, et cepen-
nent de température n'a jamais dépassé 0°,31 ; ce qui
ué à la grande quantité de chaleur contenue dans les
ns l'eau chaude.
ces de ventilation opérées sur les tuyaux de descente
llules ont fourni les volumes d'air expulsés de chaque
ure, consignés dans le tableau suivant :

DIÈRE éteint.	FOYER DE LA CHAUDIÈRE éteint depuis 12 heures, et le foyer d'appel éteint.		FOYER DE LA CHAUDIÈRE éteint, et le foyer d'appel allumé.		
m.c.		m.c			m.c.
»	Rez-de-chaussée.	32.4	Rez-de-chaussée.	Côté du nord.	64.8
59.4	1er étage	28.8		*id.* midi.	43.4
81.0	2e étage	16.0	1er étage.	*id.* nord.	97.2
				id. midi.	72.7
70	Moyenne	25.7	2e étage.	*id.* nord.	95.7
				id. midi.	80.0
			Moyenne.		75.6

les expériences précédentes sur les tuyaux de des-
ient, on a aussi opéré directement sur la cheminée
a trouvé que les volumes totaux d'air écoulés en une
cheminée étaient respectivement dans la première, la
troisième condition du tableau précédent, 3400, 1051 et
bes; ce qui fait par cellule 87, 27 et 75,4 mètres cubes.
a lieu avec de la tourbe, dont la consommation moyenne
de 367 kilog., équivalant à environ 175 kilog. de houille.
tion moyenne du foyer d'appel n'a pas été observée.
reil de chauffage de l'église Saint-Roch a aussi été
Grouvelle. Il consiste en une circulation d'eau chaude à
placée dans des caniveaux situés sous le sol; l'air ex-
elé dans ces caniveaux, d'où il sort échauffé pour se ré-
'église.
eau circulaire, qui règne sous le pourtour de la chapelle
est placée une chaudière ordinaire à deux bouilleurs,
ce de 12 chevaux environ. Un tuyau de fonte, de 0m,14

de diamètre, dont les bouts sont réunis par des joints à boulons, d'un développement de 168 mètres, part du sommet de la chaudière et passe sous le bas côté droit de l'église, en s'élevant par une pente d'environ 0^m,03 par mètre ; son point culminant est sous l'orgue ; il revient par le côté gauche de l'église en suivant la même pente, et finit par aboutir à l'un des bouilleurs de la chaudière. Un petit tuyau additionnel, placé après coup, circule en sens contraire du tuyau principal, parallèlement au tuyau de retour, et finit par déboucher dans ce tuyau à son point culminant, c'est-à-dire sous l'orgue.

Les tuyaux circulent dans un canal dont chaque paroi verticale est formée de deux murailles en briques légèrement espacées, afin de diminuer le refroidissement. Le fond est formé de planches, dans lesquelles sont pratiquées les ouvertures d'admission de l'air froid ; c'est dans le plafond du canal que sont pratiquées les prises d'air chaud qui viennent déboucher dans le sol de l'église. Après chaque bouche de chaleur se trouve une cloison transversale en bois qui ferme complétement le canal, et immédiatement après se trouve une arrivée d'air froid, qui, par cette disposition, est échauffé par toute la longueur de tuyau comprise entre deux bouches de chaleur.

Un système analogue au précédent, mais dont le tuyau n'a que 0^m,1 de diamètre et 86 mètres de longueur, part de l'autre extrémité de la chaudière et circule sous la chapelle de la Vierge et le calvaire.

Des valves placées sous les tuyaux de départ et d'arrivée permettent de modifier ou même de supprimer la circulation dans chacune des grandes artères. Sur le pourtour de l'artère principale, 4 renflements de 3 mètres de longueur et de 0^m,35 de diamètre augmentent encore la surface de chauffe ; 4 autres renflements, en forme de poêles de différents diamètres, sont placés à l'orifice des bouches principales ; des petits embranchements sans retour favorisent encore le tirage des bouches qui ne sont pas directement placées sur le parcours.

Le tuyau de fumée a 0^m,35 de diamètre ; il est en tôle, et sur une longueur de 7 mètres il chauffe l'air qui alimente une bouche isolée de la chapelle de la Vierge.

Surface de chauffe, y compris les bouilleurs.	15^{m},10
Surface de la grille.	0^{m},40
Surface de refroidissement de la circulation.	144^{m},35
Volume de l'eau qui s'échauffe.	3^{m},008
Id. qui se refroidit.	4^{m},215
Température de l'eau dans la chaudière.	120°
Id. à sa rentrée dans la chaudière.	102°
Température moyenne de l'eau en circulation. . . .	111°
Différence maximum de niveau.	3 à 4^{m}
Nombre de bouches grillées versant l'air dans l'église.	22
Surface libre de chacune de 21 de ces bouches. . . .	0^{m},135
Id. de la bouche placée sous l'orgue. . . .	0^{m},400
Id. de toutes les bouches	3^{m},235

de l'église.	110 à 115m
. . . .	28m
oyenne.	15 à 18m
environ.	3150m
viron	32000m
s murailles exposées au refroidissement. .	5835m
moyenne de ces murailles.	0m,50
vitraux.	860m
s murs et piliers intérieurs.	1800m
s places assises.	3500
s personnes réunies les dimanches ordi-	2000 à 4000
s personnes réunies les fêtes ordinaires. .	4000 à 6000
Id. grandes fêtes. . .	6000 à 8000
ale des ouvertures pratiquées dans la voûte ssures des fenêtres.	14m,15
oyenne à laquelle se trouvent toutes ces es et fissures.	11m,20
s portes donnant à l'extérieur.	6

nces de M. Pottier ont fait voir que le maximum de puis-
areil était limité à maintenir la température intérieure à
de la température extérieure; ce qui est suffisant dans
s froids.

auffage continu de 10 jours, on a amené la température
5°, et même à 18° pendant les offices du dimanche, la
xtérieure étant de 4 à 5°. Une fois que toute la masse de
chauffée, on a pu ne chauffer que quelques heures par
x, on a pu attendre que la température intérieure se
e 2 à 3°, et alors chauffer le temps suffisant pour la ra-
oint de départ; cette dernière marche paraît être plus
ous le point de vue du combustible. Des expériences,
la température extérieure étant 5°, et celle intérieure
t interrompre le chauffage pendant 5 à 6 jours pour ob-
sement de 1° seulement.

mètres placés à 8 ou 9 mètres du sol, sous l'orgue, et
ou 20 mètres, à la corniche du dôme de la chapelle de
nt, pendant 20 jours, indiqué une température supé-
yenne de 10 thermomètres placés à 2 mètres du sol que
75 au maximum.

es les surfaces intérieures des murailles, et jusqu'à une
distance, la température de l'air est constamment infé-
5 à 1°,50 à celle de l'air dans la partie centrale.

mbre au 18 janvier, c'est-à-dire en 63 jours, compre-
ours de feu continu, on a brûlé 32170 kilog. de houille,
e moyenne de 510 kilog. par jour. Pendant ce temps, la
moyenne intérieure a été de 13 ou 14°, et celle extérieure

La perte de chaleur par les murailles, pour l'excès de t
de 16°, qui correspond au maximum d'effet de l'appareil
nant le coefficient de conductibilité C = 1,27, est M = 14,8
carré et par heure (5° du n° 354), et pour la totalité des
heure 14,80 × 5835 = 86358 unités.

La hauteur des fenêtres étant de 4 mètres, pour un ex
pérature de 16°, M = 40 unités ; la perte totale de chaleur
traux est alors de 40 × 860 = 34400 unités par heure.

La perte totale de chaleur par les murailles et les vitres
86358 + 34400 = 120758 unités.

Admettant que les 40 kilog. de houille brûlés par heure
un effet utile de 3850 × 40 = 154000 unités de chaleur,
chaleur par la ventilation est donc de 154000 — 120758=

370. Le grand amphithâtre du Conservatoire des art
est chauffé et ventilé d'après un dispositif de M. Léon Duv
Aux termes du marché, la température ne doit pas être
15°, et elle s'élève habituellement à 20° pour les grandes
800 personnes.

Pour obtenir la même température au bas et au somm
phithéâtre, et extraire, sans gêner les auditeurs, une q
suffisante pour enlever toute émanation, M. Duvoir a ouv
bas des gradins, sous les jambes des auditeurs, des orifices
sont en communication avec des conduits pratiqués sous
Ces orifices sont au nombre de 39, dont 34 ont 0m,08 sur 0
répartis sur les 2/3 de la hauteur de l'amphithéâtre, et do
tres sont situés sous le premier gradin et ont 0m,15 sur 0m
ture. Tous les conduits se réunissent dans une pièce
l'amphithéâtre et qui contient le calorifère à eau chaude
pièce, et à 0m,50 au-dessus du sol, s'ouvrent 4 bouches
longées par autant de conduits verticaux qui se réunissen
tuyau horizontal communiquant à une grande cheminée
bas de laquelle se trouve un foyer qu'on n'allume qu'en
soin.

Des tuyaux de circulation d'eau chaude, avec des parti
appelées bouteilles, passent dans le fond du conduit hori
en échauffer l'air et produire l'aspiration.

La cheminée verticale contient deux tuyaux en fonte, l'
munique au fourneau d'une machine à vapeur, et l'aut
chaud qui sert de commencement de cheminée au calorif

Ces deux tuyaux sont raccordés avec deux autres plus
forment la cheminée du petit calorifère auxiliaire employ
terminer ou accélérer au besoin l'appel d'air.

Il a encore été établi dans le plafond de l'amphithéâtre, au
la partie la plus élevée des gradins, une large bouche d'app

tement à la cheminée d'appel par un tuyau horizontal.
es sections des 4 orifices qui font appel dans la chambre
nentée de la section 0mc,49 de l'orifice pratiqué dans le
nphithéâtre est de 1mc,653.
e la cheminée prise à la hauteur du regard est 1m,10 ×
3. Si l'on en déduit la section 0mc,187 des tuyaux en
pour le passage libre 0mc,946.
nces faites par M. Morin, et qui ont duré 9 jours, pen-
es températures moyennes intérieure et extérieure ont
19° et de 6°, on a constaté :

e l'effet de la circulation de l'air et de l'appel plus considérable par
r le haut, la différence des températures de la partie supérieure et
ais dépassé 1°.5 sur 20°, qui était la température maximum;
ntilations actives, le volume d'air enlevé a été en moyenne de 15m,23
es 800 personnes et par heure, et pour les moins actives 10m,0. A
fre aucune odeur désagréable ne se faisait sentir, mais cependant on
celui de 15 à 16m pour base des projets de ventilation des salles oc-
personnes en bonne santé; pour des malades et surtout des blessés
re suffisant;
ériences spéciales faites à l'hospice Beaujon, M. Morin a constaté que
ir évacué variait de 40 à 60 mètres cubes par malade et par heure,
à peine suffisante quand il n'y avait pas de blessures trop graves.
ien distribué dans les salles, il est évident que ces quantités d'air
que suffisantes (372);
ppel n'a généralement été entretenu que faiblement; l'échauffement
par le simple tuyau de chauffage et celui des conduits horizontaux
lles pleines d'eau chaude ont paru suffisants;
totale de charbon brûlée par jour pour le chauffage et la ventilation
à 225 kilog. par jour, soit 200 kilog. par jour.

ge et ventilation de la salle des séances de l'Institut.
. Cheronnet à la séance de l'Institut du 6 mai 1852, et
Revue de l'instruction publique.
s séances de l'Institut est chauffée et ventilée d'après
e M. Duvoir-Leblanc. Le chauffage est produit par
is d'eau chaude, à travers lesquels circule un courant
uffe. Ces appareils, situés aux 4 coins de la salle, peu-
er ensemble ou séparément, suivant la température de
au moyen de robinets de communication spéciale entre
et le générateur.
on se fait par deux grands conduits qui communiquent,
érie de grilles situées devant les pieds même des mem-
ut, l'autre avec un grand nombre de trous faits dans les
gnent sur les longs côtés de la salle. Le premier de ces
d jusqu'au rez-de-chaussée, pour remonter ensuite dans
dans laquelle est un réservoir à eau chaude de 12 mè-
r qui produit l'appel. Le second tuyau ne descend que

jusqu'à l'entresol, et remonte ensuite dans la chemi
sième conduit, destiné à la ventilation d'été, part de l
rieure de la salle et se rend dans la cheminée.

« Le 5 avril, une expérience a été faite dans le but d
quantité d'air extraite de la salle des séances : cette ex
exécutée au moyen de deux anénomètres qui ont été p
nément dans les deux conduits, et y sont restés une l
Voici les résultats de cette expérience :

« 1er orifice (rez-de-chaussée), section 0m,970, vitesse
par seconde, volume écoulé en une heure 3275m,496.
tion 0m,3842, vitesse 1m,284, volume écoulé en une he
Ainsi, pendant cette première expérience, il a été ext
des séances 5071 mètres cubes d'air. La salle renfer
sonnes, ce qui donne, par heure et par personne, 28m
était très-beau, et la température était de 12 à 13°.

« Le 19 avril, une seconde expérience a été faite da
conditions; elle a donné, pour le premier conduit, 40
le second, 1908m,372; total, 5931. Il y avait 200 pers
salle; le volume d'air extrait a donc été de 29m,65 par he
sonne. Ce jour-là le temps était très-couvert; il est m
la neige pendant l'expérience; la température extérieu
à 7°,5 environ. »

372. *Chauffage et assainissement de l'hôpital Lariboi*

L'hôpital se compose d'une cour carrée de 115 mèt
longueur sur 45 mètres de largeur, environnée de port
diculairement aux longs côtés, à égales distances les u
aux extrémités, se trouvent six pavillons isolés, à deux ét
étage de chacun de ces bâtiments et au rez-de-chaussé
salle renfermant 32 lits, et une plus petite qui n'en c
ainsi le nombre des lits de chaque bâtiment est de 102
total 612. Dans la direction des petits côtés de la cou
trouvent des bâtiments qui se prolongent jusqu'à la d
trémités des pavillons; enfin, derrière un des petits c
intérieure, et dans l'alignement des grands côtés, se t
d'autres constructions; ces bâtiments sont destinés aux
vices de l'établissement. Tous sont environnés par un

Un projet de M. Duvoir-Leblanc a été adopté pour
l'établissement, et un autre de MM. Thomas, Lauren
pour l'autre moitié.

Le projet de M. Duvoir consiste à placer dans la cave
villon un calorifère à eau chaude, dont l'eau alime
nombre de poêles placés dans les salles. L'air pris au
s'échauffe en passant autour des tuyaux de communi
chaude et à travers les poêles, entre dans les salles, et

conduits verticaux qui le conduisent dans le grenier; é par des canaux horizontaux, renfermant des tuyaux dans une cheminée ayant 5 mètres de hauteur.

e MM. Thomas, Laurens et Grouvelle consiste en une apeur placée dans une cave située sous une des cours i était destinée à la chaudière à vapeur des bains; une ée en briques, placée à côté, opère le tirage du foyer. La e sous une pression de 4 à 5 atmosphères et détendue nine de manière à conserver une pression d'une atmo- e, est conduite en face de chaque pavillon par un tuyau au centre d'un caniveau creusé dans les galeries sou- ont le tour de la cour intérieure de l'hôpital; ce tuyau de corps mauvais conducteurs qui réduisent à fort peu leur perdue. Il passe dans son trajet à côté des bains, et n court branchement, la vapeur qu'ils exigent. Un petit sur la conduite générale, en face de chaque pavillon, peur nécessaire au chauffage; les corridors et les cham- sont chauffés par des bouches de chaleur qui reçoivent r les colonnes montantes de vapeur et de retour d'eau. calier, le chauffoir et les salles de malades renferment au chauffés par la vapeur. Les tuyaux de conduite de s salles sont placés dans un caniveau situé au-dessous recouvert d'une plaque de fonte. Les étuves des offices es chaudes par la circulation d'un petit filet de vapeur narie dont elles se composent. L'eau pour les bains est un réservoir en tôle placé au grenier, à l'aide d'un lequel circule la vapeur.

à vapeur, dans laquelle se détend la vapeur qui est en- au chauffage, fait mouvoir un ventilateur qui aspire de u sommet du clocher de la chapelle, et le refoule dans tôle qui le portent à chacun des pavillons et à chacun . Dans l'épaisseur du mur de tête de chaque pavillon ninée qui reçoit l'air insufflé et permet de le distribuer ges. Sous le plancher de chaque salle, et contre le ca- tient les tuyaux à vapeur et de retour d'eau, se trouve maçonnerie partant de la cheminée; l'air forcé circule rie, d'où, par un certain nombre d'orifices ménagés à répand autour des tuyaux à vapeur et y prend une e 20 à 30°; alors il entre dans la salle par des ouver- es dans la plaque de fonte qui recouvre le caniveau. e ces ouvertures sont telles, que l'air qui en sort ne e faible vitesse.

ées aboutissant au grenier, au nombre de 9, et creusées mur latéral des salles, sont destinées à évacuer l'air

vicié; chacune d'elles porte à cet effet deux orifices d'entrée munis de registres ; l'un, placé au niveau du sol, sert pour l'hiver; l'autre à 2m,50, ne s'ouvre que l'été. Les cheminées d'évacuation débouchent dans les greniers, et l'air vicié qu'elles amènent se dégage par 4 châssis à tabatière, et par une cheminée centrale en tôle placée au centre du grenier. Cette disposition ne permet pas d'utiliser les greniers; mais si l'on voulait s'en servir, il suffirait de conduire l'air des cheminées partielles à la cheminée centrale par des canaux.

L'état hygrométrique de l'air dans les salles est maintenu à 1/2 par une injection de vapeur dans les tuyaux de conduite.

La quantité d'air insufflé peut varier de 20 à 40 mètres cubes par lit et par heure.

L'air sort du ventilateur avec un excès de pression de 0m,01 d'eau.

Il y a une machine à vapeur, une chaudière et un ventilateur de rechange.

La vapeur sortant de la chaudière, ou de la machine où elle a été détendue, suffit à tous les services : chauffage, ventilation, bains, buanderie, élévation d'eau.

Pendant un hiver rigoureux, on a constaté que les salles, parfaitement ventilées, conservaient une température de 15 à 16°.

373. *Chauffage et ventilation des ateliers de taillerie et de cristallerie de Baccarat*, par MM. Thomas et Laurens. Extrait d'une note de ces ingénieurs rapportée par M. Péclet.

Dans ce magnifique établissement, les ateliers consacrés à la taille des cristaux se composent d'un corps de bâtiment de 150 mètres de longueur, qui, à une de ses extrémités, se prolonge par une aile en retour d'équerre ayant même hauteur et même largeur que lui, et une longueur de 45 mètres ; toutes les dispositions ont donc dû être prises comme s'il se fût agi d'un seul corps de bâtiment de 200 mètres de longueur. Le rez-de-chaussée et le premier étage sont occupés par deux files de tours à tailler les cristaux, mis en mouvement par des turbines d'une force collective de 60 chevaux. Ces ateliers contiennent constamment 544 ouvriers.

Le taillage se faisant à l'eau, l'atmosphère est constamment saturée, ce qui exige une ventilation active et un chauffage plus dispendieux.

Les travaux de ventilation et de chauffage ont été établis en même temps et combinés ensemble. Le chauffage s'effectue à l'aide de la vapeur à haute pression, 4 atmosphères et 5 au besoin pendant les grands froids, et la ventilation à l'aide de deux ventilateurs à force centrifuge. Un des ventilateurs, mis en mouvement par la turbine n° 1, est placé dans le grenier, et il refoule dans les salles de travail de l'air pur puisé à la hauteur des toits; une conduite générale de vent, en planches de sapin bien jointives, est établie sur le plancher du grenier, et des tuyaux, aussi en bois, descendent de distance en

porter l'air neuf aux diverses salles. En hiver, cet air est échauffé à la température d'environ 30°, par son pas- chambre que traverse un faisceau de 15 tuyaux de va- 135 de diamètre et 2 mètres de longueur.

l'arrivée de l'air neuf sont placés dans l'axe des salles, viron les uns des autres, et à 1 mètre au-dessus du

ayant que 8m,30 de largeur, l'air se trouve suffisamment

chappe des salles sans aucune cheminée d'appel, sim- s joints des fenêtres que l'on a soin de ménager à cet sent aucun courant incommode.

ntilateur est appliqué à la turbine n° 2, et il fait le ser- moitié des ateliers.

urs ont 1m,20 de diamètre et une largeur de 0m,28; rs par minute; la pression du vent dans les réparti- issent aux ventouses n'est que de 3 à 4 millimètres d'*al-*

e vent insufflé s'élève à environ 12 mètres cubes par heure, ce qui est suffisant à cause de la bonne répar- ans l'atelier.

est produit par de simples tuyaux de vapeur en fonte ous les établis des ouvriers; ils enlèvent ainsi l'humi- lement accumulée dans ces établis, et permettent aux r les pieds chauds.

a prouvé qu'avec la ventilation indiquée, il est indis- d'émettre de la chaleur dans les ateliers, soit, de pré- er la température de l'air insufflé, à des époques de s heures de la journée pour lesquelles la température blerait devoir rendre tout chauffage inutile. On ex- qui est une cause d'excès de dépense, par l'efficacité on, jointe à l'humidité répandue dans les ateliers. Si ive pas dans les salles à une température d'au moins asionne une sensation désagréable, ou plutôt les salles t rapidement; d'où résulte la nécessité de chauffer ation la majeure partie de l'année, si ce n'est toute la oins le matin.

HYGROMÉTRIE.

hygrométrique de l'air est le rapport de la quantité de contenue dans l'air à la quantité qui s'y trouverait s'il

était entièrement saturé à la même température ; ce rapport est aussi celui des tensions de la vapeur d'eau.

On donne le nom d'*hygromètre* aux instruments employés pour déterminer ce rapport. Le plus usité est celui qui a été imaginé par de Saussure : il est fondé sur la propriété que possède un cheveu légèrement tendu de se raccourcir ou de s'allonger, selon qu'il est placé dans un air plus sec ou dans un air plus humide. Le 0 de l'instrument correspond à un air entièrement privé de vapeur et le degré 100 à un air complétement saturé.

Gay-Lussac a déterminé par expérience les tensions de la vapeur correspondant aux différents degrés de l'hygromètre, pour l'air à la température de 10° et à la pression $0^m,76$. Les rapports de ces tensions à la tension maximum de la vapeur sont consignés dans le tableau suivant, à l'aide duquel on peut déterminer le poids de vapeur contenu dans un mètre cube d'air saturé aux différents degrés de l'hygromètre, non-seulement pour la température de 10°, mais aussi pour une température quelconque, qui ne diffère pas toutefois beaucoup de 10°, car il est très-probable que les rapports entre les degrés de l'hygromètre et les tensions de la vapeur changent avec la température.

Soit, par exemple, à déterminer le poids de vapeur contenu dans un mètre cube d'air à la température habituelle 15° des lieux habités, l'hygromètre marquant 70 degrés. A 15°, un mètre cube de vapeur à son maximum de densité pesant $12^g,99$, soit 13 grammes (page 376), le rapport de tensions indiqué par la table étant 0,4719, le poids cherché est $13 \times 0,4719 = 6^g,135$. C'est ainsi que nous avons calculé les poids du tableau suivant. La force élastique de la vapeur saturée à 15° étant $1^{cm},28$ (page 376), à 70 degrés de l'hygromètre la tension de la vapeur est $1,28 \times 0,4719 = 0^{cm},604$.

Dans les couches inférieures de l'atmosphère, l'indication moyenne de l'hygromètre est 72° dans toutes les saisons, ce qui correspond, comme le montre le tableau, à de l'air saturé à la moitié du maximum; rarement l'hygromètre marque 100°, même quand il pleut; 40° est la limite de sécheresse, près de la surface de la terre.

TABLEAU du rapport de la tension de la vapeur d'eau correspondant aux différents degrés de l'hygromètre, à la tension de la vapeur saturée, la température étant de 10°, d'après les expériences de Gay-Lussac, et du poids de vapeur contenu, aux différents degrés de l'hygromètre, dans un mètre cube d'air à la température de 15°.

DEGRÉS de l'hygromètre.	RAPPORT des tensions.	POIDS de vapeur à 15°.	DEGRÉS de l'hygromètre.	RAPPORT des tensions.	POIDS de vapeur à 15°.	DEGRÉS de l'hygromètre.	RAPPORT des tensions.	POIDS de vapeur à 15°.
		gramm.			gramm.			gramm.
0	0.0000	0.000	34	0.1710	2.223	68	0.4489	5.836
1	0.0045	0.058	35	0.1768	2.298	69	0.4604	5.985
2	0.0090	0.117	36	0.1830	2.379	70	0.4719	6.135
3	0.0135	0.175	37	0.1892	2.460	71	0.4851	6.306
4	0.0180	0.234	38	0.1954	2.540	72	0.4982	6.477
5	0.0225	0.292	39	0.2016	2.621	73	0.5114	6.648
6	0.0271	0.352	40	0.2078	2.701	74	0.5245	6.818
7	0.0318	0.413	41	0.2145	2.788	75	0.5376	6.989
8	0.0364	0.473	42	0.2212	2.876	76	0.5525	7.182
9	0.0410	0.533	43	0.2279	2.963	77	0.5674	7.376
10	0.0457	0.594	44	0.2346	3.050	78	0.5824	7.571
11	0.0505	0.656	45	0.2413	3.137	79	0.5973	7.765
12	0.0552	0.718	46	0.2486	3.232	80	0.6122	7.959
13	0.0600	0.780	47	0.2559	3.327	81	0.6289	8.176
14	0.0648	0.842	48	0.2632	3.422	82	0.6457	8.394
15	0.0696	0.905	49	0.2706	3.518	83	0.6624	8.611
16	0.0746	0.970	50	0.2779	3.613	84	0.6792	8.830
17	0.0795	1.033	51	0.2858	3.715	85	0.6959	9.047
18	0.0845	1.098	52	0.2938	3.819	86	0.7149	9.294
19	0.0895	1.163	53	0.3017	3.922	87	0.7339	9.541
20	0.0945	1.228	54	0.3097	4.026	88	0.7529	9.788
21	0.0997	1.296	55	0.3176	4.129	89	0.7719	10.035
22	0.1049	1.364	56	0.3266	4.246	90	0.7909	10.282
23	0.1101	1.431	37	0.3357	4.364	91	0.8109	10.542
24	0.1153	1.499	58	0.3447	4.481	92	0.8308	10.800
25	0.1205	1.566	59	0.3537	4.598	93	0.8508	11.060
26	0.1259	1.637	60	0.3628	4.716	94	0.8707	11.319
27	0.1314	1.708	61	0.3731	4.850	95	0.8906	11.578
28	0.1369	1.780	62	0.3834	4.984	96	0.9125	11.862
29	0.1423	1.850	63	0.3936	5.117	97	0.9344	12.147
30	0.1478	1.921	64	0.4039	5.251	98	0.9563	12.432
31	0.1536	1.997	65	0.4142	5.385	99	0.9781	12.715
32	0.1594	2.072	66	0.4258	5.535	100	1.0000	13.000
33	0.1652	2.148	67	0.4373	5.685			

ÉCLAIRAGE.

375. *Propriétés physiques de la lumière.* La radiation de la lumière est rectiligne, et la vitesse de ses rayons est de 77000 lieues de 4000 mètres par seconde. Pour une même source, l'intensité de la lumière diminue dans le rapport inverse des surfaces des sections du cône de lumière, c'est-à-dire en raison inverse du carré de la distance.

376. *Vitesse du son, de l'électricité et des projectiles de guerre* (375). Dans l'air à la température de 16°, le bureau des longitudes a

trouvé par expérience que la *vitesse du son* était de 340
conde. Cette vitesse décroît avec la température; ainsi à
de 337^m, et à 0°, elle est de 333^m.

D'après des expériences exécutées par M. Colladon s
Genève, la vitesse du son dans l'eau à 9° est de 1435^m pa

La vitesse du son dans l'air étant représentée par 1,
dans la fonte d'après M. Biot, et d'après Chladni, 7,5
9 dans l'argent, 12 dans le cuivre rouge, 10,67 dans le laito
le fer, l'acier et le verre, 10,67 dans le chêne, 12,50 dans l
dans le charme et l'orme, 15 dans le tilleul, 16 dans le sa
18 dans le sapin.

Vitesse de l'électricité. D'après des expériences ex
MM. Fizeau et Gounelle sur les fils télégraphiques de Pa
et à Rouen, il résulte : 1° que dans un fil de fer de 0^m,
mètre la vitesse de l'électricité est de 101 700 kilom. p
2° que dans un fil de cuivre de 0^m,0025 de diamètre
177 700 kilom.; 3° que les deux électricités se propagent a
vitesse; 4° que la tension de l'électricité et l'intensité du
sans influence sur la vitesse; que dans des conducteur
différentes, les vitesses ne sont pas proportionnelles aux
lités électriques.

Portées maxima des bouches à feu.

DÉSIGNATION DES PIÈCES.	CHARGES.	ANGLES du tir.	PORTÉES.	DURÉE du traj
	kil.	°	m	
Canon de 24.	6	32.47	4650	40"
Id. de 16.	4	31.00	3820	30
Id. de 12 de campagne. .	3	30.66	3500	29
Id. de 8 *id.* . . .	2	29.97	3230	27

Ordinairement les charges ne dépassent pas le 1/3 d
boulets, c'est-à-dire 4^k, 2^k,66 et 2^k pour les pièces de
de 12; les portées maxima sont de 3000 à 2600 mètres, et
initiales de 500^m environ.

Au delà de 1200^m, le tir n'a plus de justesse.

Le canon du fusil d'infanterie a 0^m,018 de diamètre
1^m,083 de longueur. La balle a 0^m,017 de diamètre; il y e
33 au kilog. Le tir est encore redoutable au delà de 200
même compter que 22 balles sur 100 à 300^m, et 10 sur 100
tent dans un panneau de la longueur du front d'une co
600^m, sous un angle de 4 à 5°, la balle perce une planche
de 0^m,02 d'épaisseur. La vitesse initiale de la balle est de 1

le portée est de 1000m sous un angle de 29°; la durée de
rajet est de 10″,5 environ.

es employées à l'éclairage. Il en est qui sont solides,
nt liquides, et d'autres gazeuses.

solides appliquées à l'éclairage sont : 1° les branches
ıx, employées dans quelques contrées peu civilisées ;
es, qui se fabriquent avec le suif provenant du bœuf,
nouton ; 3° les bougies proprement dites, qui se font
beilles, et celles fabriquées avec le blanc de baleine et
arique et stéarique.

uantité de chandelles et de différentes bougies consommée par heure,
ative, celle de la bougie de cire de 8 *au kilogramme étant représentée*

TION DES MATIÈRES BRULÉES.		CONSOMPTION par heure, en grammes.	CLARTÉ relative.
f,	de 6 au 1/2 kilog. . .	9.53	81
es,	4 *id.*	10.63	98
	5 *id.*	10.16	92
	6 *id.*	9.84	89
	8 *id.*	9.22	82
	4 *id.*	9.37	100
	6 *id.*	8.59	92
	8 *id.*	7.66	83
de baleine,	4 *id.*	10.34	118
	5 *id.*	9.22	100
	6 *id.*	8.53	96

les nombres de la troisième colonne par ceux de la
a les quantités relatives de lumière produites par le
es diverses matières; on trouve ainsi que le pouvoir
cire étant 100, les pouvoirs moyens du suif, de l'acide
blanc de baleine sont respectivement 80, 84 et 104.
grasses, siccatives et essentielles, sont les liquides em-
rage. Les huiles grasses sont les seules que la pratique
nt adoptées; les huiles siccatives ne peuvent être em-
e de leur durcissement à l'air, et les huiles volatiles ne
c fumée et dégagent une odeur fort désagréable. Parmi
ses, les plus généralement employées sont celles d'olive,
avette et d'œillette ou pavot.
sé pour l'éclairage s'extrait de la houille, des résines,
s de toute nature, et de presque toutes les matières or-
squ'elles donnent par la distillation des carbures d'hy-
x, principe essentiel du gaz de l'éclairage.

378. *Éclairage par le gaz.* La flamme du gaz de l'éclai
tant plus brillante que la densité du gaz est plus grande,
gène contient plus de carbone, que le nombre des parti
bone est plus grand, et que la température de l'air d'ali
par suite celle de la flamme sont plus élevées. Le pouv
du gaz de la houille est moindre que celui du gaz de l'hu
série d'expériences, la densité du gaz de la houille ét
moyenne, et celle du gaz à l'huile 0,960, le pouvoir écla
mier étant 100, celle du second a été 272.

Il y a quelques années, l'éclairage d'un bec de lamp
sommant 42 grammes d'huile épurée à l'heure se pay
éclairage journalier de 5 heures, 134f,47 par an, y comp
et le nettoyage de la lampe, qui coûtait, par abonneme
an, et les mèches, dont la consommation était de 1f,50 p
même temps d'éclairage journalier par le gaz à l'huil
108 fr. par an pour un bec, et par le gaz à la houille,
mière dans ce dernier cas étant à celle de la lampe C
rapport de 1,40 à 1, la lumière annuelle d'une lampe Ca
avec du gaz de houille, coûtait donc 66f,85.

Le gaz provenant de la distillation de l'huile a pour
au moment de sa préparation, et suivant qu'on le co
instant, ou deux ou quatre jours après, il faut brûler
ou 544 ou 607 centimètres cubes pour obtenir la lumièr
delle de 6 au 1/2 kilog. Pour le gaz de la houille, ces
respectivement 1012, 1087 et 1164 centimètres cubes.

On donne ordinairement aux becs la forme des becs
tuyau, à l'extrémité, s'évase et prend la forme d'un an
quel on soude une couronne métallique percée de tro
dont le diamètre varie de 1/4 à 1/2 millimètre, par le
s'échappe. Le verre de ces becs a environ 0m,06 de diam
à 0m,18 de hauteur. Comme le montre le tableau suiva
l'expérience, le nombre de trous reconnus le plus avant
ces trous sont espacés de 3 millimètres.

Nombre de trous	8	10	15
Lumière	360	360	391
Dépense	367	318	296
Intensité relative	98	118	132

Les becs dits chauve-souris ou en éventails sont formés
creuse en acier, de 6 millimètres de diamètre, réunie à
par une petite gorge. Dans cette sphère, on pratique
fente de 1/6 de millimètre environ de largeur, par laque
le gaz. Ils sont vissés dans un petit tube en cuivre soudé à

nceinte de la capitale 6 compagnies gazières. Elles ont
e Paris 446 kilomètres de conduites en fonte, en tôle
n plomb. Les services publics leur prennent 13 910
nt 14 470 mètres de gaz par jour. Les services particu-
nment 42000 mètres cubes par jour.

les compagnies gazières de la capitale sont réunies
ciété. Un décret impérial, en date du 25 juillet 1855,
ité conclu le 23 juillet 1855, entre la ville et la société,
ion de l'éclairage et du chauffage au gaz dans Paris.
nner un extrait du cahier des charges (*Moniteur*, des
bre 1855).

concède à la Société le droit exclusif de conserver et d'établir des
luite du gaz d'éclairage et de chauffage sous les voies publiques.
est faite pour 50 années, qui commenceront le 1er janvier 1856.
aura le droit d'autoriser des essais d'éclairage et de chauffage par
i pourront se produire, dans une limite de 1000 mètres de longueur
sans que l'exercice de ce droit puisse donner lieu à aucune indem-
concessionnaires. Cette Société ne pourra être constituée à un capi-
érieur à 50 000 000 de francs. Au delà de 10 pour 100 de ce capital,
e réalisera seront partagés entre elle et la ville par moitié, après
premières années de la concession.
acera par une ou plusieurs usines, qui seront construites en dehors
, les trois usines situées aujourd'hui dans l'intérieur de Paris. Ces
vront fonctionner le 1er janvier 1860 au plus tard.

ositions communes à l'éclairage public et particulier.

ait par le gaz extrait de la houille. Il ne pourra être employé d'autre
ement formel et par écrit du préfet de police, après délibération du

itement épuré; son pouvoir éclairant devra être tel que, sous une
, il donne, pour les becs de l'éclairage public, les intensités de lu-

mmant 100 litres à l'heure, 0,77 de l'éclat d'une lampe Carcel brû-
'huile à l'heure;
mant 140 litres à l'heure, 1,10 de l'éclat d'une lampe Carcel brû-
'huile à l'heure;
mant 200 litres à l'heure, 1,72 de l'éclat d'une lampe Carcel brû-
'huile à l'heure.
progrès de la science, l'administration, de l'avis du conseil munici-
able d'imposer à la Société l'emploi de procédés étrangers au système
on du gaz, celle-ci serait tenue de se conformer aux prescriptions de

l'emploi de ces nouveaux procédés aurait pour résultat un abaisse-
le prix de revient du gaz, la Société serait obligée de faire profiter
et particulier de cet abaissement de prix, dans les proportions dé-
torité administrative, toujours de l'avis du conseil municipal.
même pour le cas où, sans attendre l'intervention administrative, la
l'initiative de l'application de procédés nouveaux.
ne seront applicables que par périodes de cinq ans.
rs mois de chaque période, tous les procédés étrangers au système

actuel de fabrication, qui seraient jugés de nature à constituer un progrès, seront exa-
minés par une commission qui sera désignée par le ministre de l'intérieur, et qui indi-
quera ceux des perfectionnements ou celles des inventions qui lui paraîtront pouvoir
recevoir une application industrielle et manufacturière.

En cas de découverte d'un mode d'éclairage autre que l'éclairage par le gaz, l'ad-
ministration se réserve le droit de concéder toute autorisation nécessaire pour l'éta-
blissement du nouveau système d'éclairage sans être tenue à aucune indemnité envers
la Société actuelle.

Pendant la durée de l'éclairage et pendant toute la durée du jour, dans les quartiers
où l'état de la canalisation et le nombre des consommateurs le permettront, le gaz
devra être tenu, dans les conduites, sous une pression assez forte pour qu'il arrive
aux becs en quantité suffisante, même dans le cas où il aurait à traverser un comp-
teur.

Éclairage public.

Cet éclairage comprend toutes les voies publiques existantes, et celles qui pourront
être créées, ainsi que tous les établissements municipaux et départementaux dans la
ville de Paris. Il comprendra les établissements militaires qui seront indiqués par le
préfet de police.

Il y aura 3 séries de becs.

La dimension de la flamme de ces becs sera au minimum, savoir :

Pour la	1re série	0^m^,057	de largeur sur	0^m^,029	de hauteur.
—	2e —	0^m^,067	—	0^m^,032	—
—	3e —	0^m^,094	—	0^m^,045	—

Le prix est fixé par heure :

Pour les becs de la	1re série à. . .	0^f^,015
— —	2e — à. . .	0^f^,021
— —	3e — à. . .	0^f^,030

Lorsque le gaz sera livré au compteur, il sera payé à raison de 0^f^,15 le mètre cube.

Les modèles des brûleurs employés seront déterminés par le préfet de police.

L'éclairage public est divisé en éclairage permanent et en éclairage variable.

L'éclairage permanent fonctionne du soir au matin sans interruption.

L'éclairage variable est subordonné aux besoins des localités.

La nature de l'éclairage sera fixée par le préfet de police, qui aura toujours le droit
de la modifier.

Éclairage particulier.

La Société sera tenue de fournir le gaz à toute personne qui aura contracté un abon-
nement de trois mois au moins, et qui se sera d'ailleurs conformée aux dispositions des
règlements concernant la pose des appareils.

Les polices en vertu desquelles seront souscrits les abonnements devront être con-
formes à un modèle approuvé par l'administration.

Les abonnements pourront être faits pour tous les jours sans exception ou en excep-
tant les dimanches et fêtes.

Aucun abonnement ne pourra être refusé, mais la Société sera en droit d'exiger que
le payement s'en fasse par mois et d'avance.

Le gaz sera fourni, soit au compteur, soit au bec et à l'heure, à la volonté des
abonnés.

Un modèle de chaque système de compteur, approuvé par l'administration, sera dé-
posé à la préfecture de police.

Les compteurs seront à la charge des abonnés, qui auront la faculté de les pren-

s autorisés, et de les faire poser et entretenir par des ouvriers de
es droits des fabricants brevetés.
être mis en service qu'après avoir été vérifiés et poinçonnés par l'ad-

ais, quant à leur exactitude et à la régularité de leur marche, à
ions que l'administration pourra prescrire, sans préjudice de celles
a la Société voudraient faire effectuer par les voies du droit.
compteur auront la libre disposition du gaz qui aura passé par le
rront distribuer le gaz comme bon leur semblera, soit à l'intérieur,
e leur domicile, sans que, dans le cas où le nombre de becs déclarés
il puisse en résulter aucune action contre la Société, à raison de la
rage.
e cube de gaz vendu au compteur est fixé à 0f,30 pour les 50 années

a faire jouir ses abonnés de ce prix à partir du 1er janvier 1856, non-
ce antérieure que ceux-ci auraient pu consentir à des prix supé-

de fournir, en location, des compteurs d'un système de son choix à
bonnés qui lui en demanderont.
location sera déterminé par le préfet de police, et indiqué sur la
nt.
te du gaz livré à l'heure au moyen de becs cylindriques, à double
d'*Argant*, seront débattus de gré à gré entre la Société et les

, pour tous les consommateurs qui le demanderont, convertir immé-
nements à l'heure en abonnements au compteur.
durée de la concession, le prix de tout autre bec que celui qui est
rticle précédent, ou d'un éclairage qui aurait lieu hors des heures
ébattu de gré à gré entre la Société et les abonnés.
ême pour les becs cylindriques percés de vingt trous, qui seraient
r.
pourront exiger d'éclairage, soit au compteur, soit au bec, que pen-
les conduites de la Société seront en charge pour le service ordi-
ons des livraisons de gaz qui devraient avoir lieu en dehors de ce
es de gré à gré entre la Société et ses abonnés, sauf le cas prévu par

Chauffage.

ne l'application du gaz au chauffage, la Société se conformera à toutes
i lui seront prescrites par l'administration municipale, sans toutefois
e lui imposer des prix autres que ceux qui sont fixés pour le gaz

Annexe au traité.

e la concession, la ville de Paris deviendra propriétaire de plein droit,
ssession, sans indemnité, des tuyaux, robinets, siphons, regards,
ccessoires qui existeront alors sous les voies publiques.
également propriétaire des usines, moyennant un prix fixé à dire

es. Les cornues servant à la distillation de la houille
n très-bonne fonte grise, ni trop grise, ni trop blanche,
e soient ni trop perméables au gaz ni trop cassantes. En
bout, on obtient plus de régularité et d'homogénéité.
035 d'épaisseur, et on leur donne aujourd'hui les plus

grandes dimensions possibles : leur longueur varie de 2m,30 à 2m intérieurement, leur largeur ordinaire est 0m,45 et leur hauteur à 0m,40. Quelquefois, on ne place qu'une cornue dans un four, d'au fois 3, le plus souvent 5, et dans ces derniers temps, on a construit fours à 7 et même 9 cornues. Si les cornues en terre réfractaire ne pas généralement employées, c'est qu'il faut une terre d'une excelle qualité, et des hommes habiles pour les exécuter. A Paris, on en un usage presque exclusif, et on y trouve de l'économie, due moindre refroidissement au moment de la charge, et surtout à durée, qui dépasse quelquefois deux ans, au lieu que les cornues fonte ne servent que neuf mois en moyenne; cependant les cornues en terre sont plus sujettes à des fêlures et à des ruptures instantanées que celles en fonte. Pour les petites usines, on donne souvent la préférence aux cornues en fonte, à cause des inconvénients graves résultant de la casse des cornues en terre.

Pendant les premiers jours, les cornues en terre, qui sont reuses, laissent passer une certaine quantité de gaz; mais bientôt carbone ferme les pores de la terre.

380. *Houille* (310). Pendant la distillation, le volume de la houille augmente quelquefois des 2/5 de son volume primitif; aussi a-t soin de charger un volume de houille qui n'est guère que la m de la capacité de la cornue. La température de la cornue pendant distillation doit être constante et au degré du rouge cerise sans passer le rouge blanc (277). La distillation d'une charge dure 4 he 15 minutes pour le charbon de Mons et de Commentry; elle dure 5 à 6 heures pour d'autres; ainsi, celui des mines de Buisson gique) ne peut être distillé en moins de 6 heures. Les ouvriers exercés déchargent et rechargent une cornue en 2 ou 3 minutes.

Dans un four à 5 cornues d'une bonne construction, on peut distiller 2500 à 2600 kilogr. de houille en 24 heures, et le feu étant conduit, on brûle de 12 à 14 hectolitres de coke, c'est-à-dire de 3 35 pour 100 du coke produit.

M. Gibon rapporte que des fours à 5 cornues, qu'il a établis à l'usi d'Arras, distillaient 7 hectolitres de houille grasse du poids de 80 kil par chaque charge de 6 heures, et dépensaient pendant le même temps 2,50 hectolitres combles de coke, du poids de 45 kilog. l'hectolitre.

TABLEAU des dépenses de coke pour la distillation d'un hectolitre de houille de 80 kilogrammes, obtenues dans une usine de Paris.

	hect.	kilogr
Four à 1 cornue.	0.75	34.30
Four à 2 cornues, adossé	0.55	23.10
Four à 5 cornues, non adossé.	0.54	22.75
Four à 5 cornues, adossé	0.45	18.90

distillation de 100 kilog. de houille exige 25 à 30 kilog.

rilles ne soient pas détruites trop rapidement, par suite ure très-élevée, on a imaginé de maintenir une nappe endrier.

i convient le mieux pour les usines à gaz est celle qu'on leterre sous le nom de canel-coal; sa composition est arbon, 5,42 d'hydrogène, 19,61 d'oxygène et 0,50 de onne 320 litres de gaz par kilog. En Angleterre, 1 hec- de 80 kilog. produit en moyenne 22 mètres cubes de , les charbons de Mons, très-propres à la distillation, 20 mètres cubes; le charbon de Commentry, employé temps à Paris, donne plus de gaz que celui de Mons, voir éclairant plus faible.

xpérience de M. Penot, à Mulhouse, 1 kilog. de houille, ait sec ou contenait 10 pour 100 d'eau, a donné res- 0 litres de gaz de bonne qualité et 92 de mauvaise, et onne qualité et 92 de mauvaise. La houille doit donc

commission nommée par l'empereur, et composée de Chevreul, Morin et Péligot, a été chargée de suivre la usine à gaz d'essai établie à Sèvres, et de déterminer éléments du prix de revient du gaz à la houille. Voici oyens obtenus pour 100 kilog. de houille, les fours ent construits et marchant à l'air chaud :

e tout venant	73,45	kilog.
dron	6,73	
x ammoniacales.	7,31	
z.	22,94	mèt. cubes.
ke tout venant consommé.	20,43	kilog.

chiffres. qu'il serait bien difficile de réaliser dans l'in- x de revient d'un mètre cube de gaz, pour l'élément alors s'établir ainsi :

00 kilog. de houille		2f,400
55k,02 de coke tout venant à 3 fr. les 100 kilog. .	1f,650	2f,022
6k,73 de goudron à 5 fr. les 100 kilog.	0f,336	
7k,30 d'eaux ammoniacales à 0f,50 les 100 kilog.	0f,036	
e gaz		0f,378
be.		0f,0165

it la houille à 2f,50 les 100 kilog., le prix du mètre cube t 0f,0208, et le prix de vente du gaz rendu au bec est :

Élément charbon, compris une augmentation de 15 p. 100 à cause des fuites.	0f,0
Frais divers	0f,0
Impôt et octroi	0f,0
Intérêt	0f,0
Total	0f,1

381. *Condenseur*. Le gaz, en sortant de la cornue, passe par un tube ascendant appelé *buse montante*, de 0m,12 à 0m,15 de diamètre, pour se rendre dans un cylindre horizontal de 0m,40 de diamètre, placé en avant et au-dessus du fourneau. Ce cylindre, appelé *ba-rillet*, contient, jusqu'à un niveau déterminé, de l'eau dans laquelle la buse montante en se recourbant plonge de quelque centimètres. Le barillet est garni d'un dégorgeoir qui y maintient un niveau constant, en donnant écoulement au goudron et à l'eau ammoniacale.

En sortant du barillet, le gaz passe dans un tuyau en fonte plo[...] dans l'eau, où se condense la vapeur entraînée par le gaz. Le conden[...] seur étant constamment rafraîchi par un filet d'eau froide, on c[...] cule sa surface sur ce que 30 décimètres carrés suffisent pour c[...] denser par minute la vapeur contenue dans 3 décimètres cubes [...] gaz; ainsi, un four monté de cinq cornues chargées chacune [...] 68 kilog., dont la production en cinq heures serait de 90 mè[...] cubes, ou 300 décimètres cubes par minute, exigererait un conden[...] seur de 30 mètres carrés de surface.

Pour éviter la solidification des sels ammoniacaux dans un tube [...] long, le condenseur est souvent composé d'une série de tuyaux dis[...] en jeu d'orgue, et quelquefois ces tuyaux sont boulonnés sur [...] caisses en fonte, dans lesquelles se rendent les produits de la conden[...] sation. Ces caisses sont munies de siphons qui y maintiennent le [...] quide à un niveau constant; des diaphragmes plongeants obligent [...] gaz à suivre la série de tuyaux. Quelquefois la caisse est rempla[...] par un barillet à siphon. Les tubes plongent dans le liquide, et [...] tubulure permet au gaz de passer d'un tuyau dans le suivant. Des re[...] gards, convenablement disposés, permettent de nettoyer facilem[...] l'appareil.

382. *Epurateur*. Du condenseur, le gaz passe dans l'épurat[...] caisse, ordinairement en fonte, portant à sa partie supérieure et s[...] tout son contour extérieur une rigole contenant de l'eau dans laqu[...] plonge le bord du couvercle de la caisse, de manière à obtenir un[...] fermeture hydraulique. Une cloison verticale, également en fonte [...] qui s'élève du fond jusqu'à une petite distance du couvercle, div[...] la caisse en deux parties égales. A des distances verticales égales, [...] place dans chaque compartiment de la caisse trois claies en fer ou [...] osier, et quelquefois des plaques de tôles percées de trous. Ces clai[...] sont soutenues par des tasseaux fixés aux parois de la caisse et de l[...]

on, et elles supportent chacune une couche de chaux
ente, que le gaz est obligé de traverser, et où il se dé-
drogène sulfuré qu'il contient. On fait arriver le gaz
n des compartiments de la caisse, et il se dégage
l'autre, après avoir traversé six couches de chaux.
ille, Arras, Bordeaux, etc., on a adopté un système
consiste en quatre caisses semblables à celle qui vient
e gaz traverse toujours trois caisses pendant que l'on
me, et on a soin de faire d'abord passer le gaz dans la
e, puis la deuxième et la troisième. Par ce moyen, on
it un gaz d'une pureté convenable pour la consomma-
ectolitre de chaux vive on peut épurer 600 mètres

Dans quelques usines, le gaz, en quittant le conden-
se rendre à l'épurateur, passe dans trois laveurs,
fonte, où il laisse les sels ammoniacaux et l'ammo-
ferme encore. Comme l'eau ne peut enlever la tota-
M. Mallet à fait breveter un procédé qui consiste à
u pure l'emploi du chlorure de manganèse, qui est
nbrant provenant de la fabrication du chlore et des
rants. On a soin de diviser le gaz par bulles; il suffit
soit de 2 à 3 centimètres pour opérer l'absorption;
npêchent les dépôts de se former.
s'extrait du premier laveur, dans lequel on fait passer
uxième; celui-ci reçoit le liquide du troisième que
e dissolution pure: par là, l'épuration est méthodique.
très-propre le gaz au traitement par la chaux: ainsi,
chaux suffit, en employant le système méthodique à
our épurer 1400 à 1500 mètres cubes de gaz.
hlorure de manganèse, on peut employer le sulfate
qualité, qui ne coûte que 8 fr. les 100 kilog. à Paris,
r. s'il n'est pas cristallisé. L'idée d'employer l'acide
u pour priver le gaz de son ammoniaque, est oubliée

édé de M. Mallet n'est pas usité, ce qui a généralement
ant des épurateurs à chaux passe dans une caisse en-
re concentrique ayant même fond. Le gaz arrive dans
se et passe dans la seconde en traversant des fentes
tes dans les parois de la première. Comme on main-
un niveau supérieur à ces fentes, le gaz, pour passer
térieure, est obligé de traverser cette eau, où il laisse
e son ammoniaque. Des petites hottes, placées à la
s, divisent le gaz.
ne temps, M. Mallet épure le gaz complétement en une

seule opération, en plaçant sur les claies de l'épurateur un mélange humide de sulfate et d'oxyde de plomb, mélange qui se révivifie presque indéfiniment, après sa transformation sur les claies en sulfate d'ammoniaque et en sulfure de plomb. Enfin, à cause de la difficulté de se procurer du sulfate de plomb, MM. Laming et Mallet ont remplacé le mélange précédent par un autre composé de sciure de bois et d'oxyde de fer hydraté, qu'ils placent sur les claies au lieu de chaux et qui absorbe l'hydrogène sulfuré après que le gaz a été privé de son ammoniaque dans le laveur.

384. *Gazomètre.* Quand le gaz est épuré, il se rend au gazomètre, dont la capacité dépend de la quantité de gaz qui doit se consommer dans un temps donné. Si pour l'éclairage d'une ville, il faut [illegible] mètres cubes de gaz en 10 heures, par exemple, et que les cornues soient chargées six fois en 24 heures, chaque charge devra produire 66[illegible] mètres cubes de gaz, et le gazomètre devra contenir quatre charges, soit 2661 mètres cubes. h étant la hauteur du gazomètre et d son diamètre, comme pour la solidité il convient de faire $d = 2h$, on aura donc, dans le cas qui nous occupe,

$$h = \sqrt[3]{\frac{2661}{\pi}} = 9^{m},50, \text{ et par suite } d = 19 \text{ mètres.}$$

Ordinairement, la hauteur h s'augmente de $0^{m},30$ à $0^{m},60$. Les gazomètres des villes de province ont ordinairement de 15 à 20 mètres de diamètre; les plus grands de la capitale ont de 30 à 35 mètres.

Quelle que soit la dépense de gaz d'une usine, elle doit avoir au moins deux gazomètres, afin de pouvoir suffire à l'éclairage en cas d'accident ou de réparation.

385. *Conduites.* La canalisation du gaz donne lieu aux mêmes problèmes que celle de l'eau (179 et suivants); seulement comme on a moins de données précises, il est fort difficile de dresser des règles invariables pour fixer les diamètres. Aussi préfère-t-on généralement forcer ces diamètres; la dépense de premier établissement est plus grande; mais l'éclairage est meilleur, parce que les pertes de pression sont plus petites, et, de plus, on prévoit à un accroissement plus considérable de la consommation.

D'après diverses expériences, entre autres celles exécutées par Girard, à l'hospice Saint-Louis, sur une conduite en fonte de $0^{m},081$ de diamètre et de 623^{m} de longueur, on a, pour le gaz en général

$$P - p = p\frac{kL}{D}$$

P et p pressions à l'origine et à l'extrémité de la conduite, évaluées en mètres de hauteur de gaz;

longueur de la conduite en mètres;
diamètre intérieur de la conduite en mètres;
coefficient égal à 0,024.

densité du gaz d'éclairage étant environ 0,55 par rapport à l'air, peut admettre qu'elle est 0,0007 par rapport à l'eau (44), la température différant peu de 0° et la pression de 0m,76. Les pressions représentées en mètres de hauteur d'eau, et faisant $p = \frac{v^2}{2g}$ dans second membre de la formule précédente, puis $v = \frac{4Q}{\pi D^2}$, on a

$$H - h = \frac{0,0007 \times 0,024 \times 8}{9,81 \times \pi^2} \times \frac{LQ^2}{D^5} = 0,0000014 \frac{LQ^2}{D^5};$$

$$Q = 845 \sqrt{\frac{(H-h)\,D^5}{L}}.$$

Mayniel, ancien ingénieur de la compagnie générale d'éclai-, s'est arrêté, après diverses observations, à la formule

$$Q = 860 \sqrt{\frac{(H-h)\,D^5}{L}}, \quad \text{d'où} \qquad H - h = 0,00000135 \frac{LQ^2}{D^5}.$$

puis les observations de M. Mayniel, on a reconnu que le coefficient 860 était encore trop faible pour des diamètres supérieurs à 0 environ, et qu'il convenait de le multiplier par

1,02	1,04	1,07	1,12	1,15

r les diamètres respectifs

0m,325	0m,35	0m,40	0m,50	0m,70

TABLEAU de la perte de charge, en mètres de hauteur d'eau, due au frottement du gaz dans la conduite, pour différents nombres de becs alimentés.

PERTE DE CHARGE par mètre courant.	Nombre de becs alimentés pour les diamètres de conduite :													
	$0^{m}.054$	$0^{m}.081$	$0^{m}.108$	$0^{m}.135$	$0^{m}.162$	$0^{m}.22$	$0^{m}.245$	$0^{m}.270$	$0^{m}.300$	$0^{m}.325$	$0^{m}.350$	$0^{m}.400$	$0^{m}.500$	$0^{m}.700$
m 0.000 012 5	60	153	315	550	860	1780	2385	3100	3835	4985	6210	8995	14990	35190
0.000 025 0	81	215	440	770	1215	2500	3350	4355	5390	7010	8730	12640	21070	49450
0.000 037 5	97	265	545	950	1500	3015	4135	5365	6645	8640	10760	15580	25970	60950
0.000 050 0	114	306	630	1100	1730	3550	4770	6195	7675	9980	12420	17990	29990	70380
0.000 062 5	127	343	705	1235	1940	3980	5350	6945	8600	11180	13925	20170	33640	78890
0.000 075 0	140	375	770	1345	2130	4350	5850	7595	9405	12225	15225	22050	36750	86250
0.000 087 5	151	405	830	1455	2280	4700	6320	8200	10155	13205	16440	23815	39690	93150
0.000 100 0	163	436	890	1565	2460	5060	6800	8830	10935	14215	17700	25640	42730	100280
0.000 112 5	172	460	940	1650	2600	5340	7175	9315	11535	15000	18680	27050	45080	105800
0.000 125 0	181	484	990	1740	2730	5620	7550	9800	12440	15780	19650	28460	47430	111390
0.000 150	198	532	1090	1920	3000	6180	8300	10770	13340	17340	21600	31280	52140	122360
0.000 175	214	580	1186	2080	3280	6730	9050	11745	14545	18910	23550	34100	56840	133400
0.000 200	230	617	1262	2210	3495	7160	9625	12495	15475	20110	25050	35280	60470	141940
0.000 225	243	658	1345	2350	3720	7640	10260	13325	16500	21450	26715	38690	64480	151340
0.000 250	255	680	1396	2450	3840	7900	10605	13770	17055	22170	27610	39980	66640	156400
0.000 300	280	754	1542	2700	4270	8750	11760	15270	18910	24580	30610	44335	73890	173420
0.000 350	306	810	1660	2900	4560	9405	12725	16400	20315	26400	32890	47630	79380	186300
0.000 400	325	872	1790	3140	4900	10125	13600	17655	21870	28430	35400	51270	85460	200560
0.000 450	348	918	1860	3280	5180	10660	14320	18590	23020	29930	37270	53980	89960	211140

e pression intérieure de la conduite pour que les becs
es dans de bonnes conditions est de 0m,020 d'eau; la
mpteur est de 0m,003 à 0m,005. Dans le gazomètre, la
num étant de 0m,150, le plus grand excès de la pression
lle d'un point quelconque de la conduite est donc de
convenable de limiter cet excès à 0m,100 ou 0m,120.
es impossible que la pression se conserve uniforme sur
ur de la conduite : 1° à cause du frottement du gaz
e; 2° à cause de la variation du débit sur toute la lon-
nduite, due à la répartition et à l'allumage des becs,
ites; 3° enfin, à cause de la différence du niveau des
s de la conduite, d'où naît une variation de pression
densité du gaz est moindre que celle de l'air.
e 1 mètre de hauteur d'air étant équivalente à celle
ı (44), la densité du gaz d'éclairage étant à peu près
t à l'air, une hauteur de 1 mètre de gaz correspond à
eau de $0{,}0013 \times 0{,}55 = 0^m{,}000715$. Il en résulte que si
en descendant à partir de l'usine, la pression dans le
, en outre de celle nécessaire à l'écoulement, de
715 = 0m,000585 par mètre d'abaissement de la con-
nière quantité se retranche quand la conduite est as-
cette considération qui doit faire placer, autant que
au point bas de la distribution; on diminue ainsi la
conséquent les fuites. A l'usine de la barrière d'Italie,
quartiers bas de l'hôtel de ville, la pression dépasse
s les gazomètres; aussi les fuites sont-elles considé-
nent aux autres usines. Le service de la plupart des
ne peut être assuré, au moment où la totalité des becs
e par une pression de 0m,08 à 0m,10 d'eau dans les ga-
sion qui se réduit à 0m,06 ou 0m,08 à l'origine des con-
les.

onduite n'alimente aucun branchement sur son par-
onne un diamètre uniforme calculé d'après les con-
cédentes; mais si elle alimente des branchements
y a économie à diminuer le diamètre où le débit est

ation d'un bec varient de 120 à 180 litres par heure, il
ne dépense de 1 litre par seconde ou 3600 litres par
ante pour alimenter de 20 à 30 becs, soit en moyenne
la dépense en litres par seconde multipliée par 25
re de becs, et le nombre de becs multiplié par 0,04
se en litres par seconde.
par expérience que pour alimenter 2600 becs consom-
de gaz à l'heure, la pression étant de 0m,044 d'eau, le

diamètre du tuyau doit être de 0m,162; d'où il résulte que la vit du gaz y est de 3m,60 par seconde.

Dans une autre expérience, on a reconnu qu'un tuyau de 0m,10 diamètre suffisait, sous la pression de 0m,027 d'eau pour l'écoulem de 288 mètres cubes de gaz à l'heure.

Une distribution de 4 à 5000 becs peut se faire par une cond principale continue jusqu'à l'extrémité de 0m,22 à 0m,27, suivant longueur du parcours. De cette conduite principale partent des c duites transversales de 0m,15 environ, et pour les petites rues tuyaux ont 0m,054; c'est le diamètre qu'il convient d'employer p amener le gaz à 30 becs d'un même établissement; pour 6 à 8 be un tuyau de 0m,015 à 0m,020 suffit.

On conçoit du reste que pour un même diamètre, le nomb des becs alimentés doit être très-variable, puisqu'il dépend de la l gueur de la conduite, de sa pente et des autres diverses causes tendent à modifier la charge. Pour les petits branchements en plo avec les diamètres :

0m,027	0m,035	0m,040	0m,050	0m,055

les nombres de becs, à 120 litres de consommation à l'heure, mentés sont environ :

10	20	25	40	50

Comme on ne connaît presque jamais le nombre de becs q branchement devra alimenter par la suite, la compagnie parisi prévoit toujours une augmentation, et elle a abandonné les diam inférieurs à 0m,027, de même que les diamètres inférieurs à 0 pour les conduites.

Il convient de placer les tuyaux de conduite à 1 mètre de profon en terre, afin qu'ils ne soient atteints ni par la gelée qui les bris par les vibrations des voitures qui les ébranlent.

386. *Tuyaux.* Les tuyaux employés pour les conduites de gaz en fonte ou en tôle bitumée, comme pour l'eau (190 et suivants en plomb pour les diamètres de 8 à 40 millimètres (192).

Tuyaux employés par la compagnie parisienne pendant l'a 1859 :

en tôle et bitume à joints précis (Chameroy et Cie).
en tôle et bitume à vis (ancien système Chameroy).
en fonte à joints précis (Chameroy).
en fonte Fortin-Herrmann (brevetés).
à emboîtement ordinaire (modèle de la ville de Paris).
à joints articulés (système Doré, Chevé, du Mesnil).

Dans sa séance du 15 juin 1859 le comité a décidé que l'on empl rait ordinairement des tuyaux :

...ume à joints précis pour les diamètres. . . .	0m,35 à	0m,70
...ints précis.	0m,20	0m,30
...in-Herrmann.	0m,08	0m,15

...'a pas suivi cette règle avec exactitude, à cause du ...aux à certaines époques. Ainsi on a été conduit à faire ...s de 0m,108, 0m,162 et 0m,300 en tôle et bitume; de 0m,080 ...le et bitume à vis (ancien système); de 0m,108 à joints ...ème Doré et Chevé), et des commandes de tuyaux en ...tement ordinaire (modèle de la ville de Paris).

...*en tôle et bitume* ont 4 mètres de longueur, et ils sont ...uts pour les diamètres de 0m,35 et au-dessus.

... donné aux feuilles de tôle une longueur convenable, ... en les plongeant successivement dans plusieurs bains ...; puis on les rend inoxydables par un étamage conte... ...du plomb et un peu d'étain. On cintre alors les feuilles ... dans un laminoir à 3 cylindres; puis on perce les trous ... longitudinale, en ayant soin que le recouvrement soit ...03, selon les diamètres.

...ets doivent être étamés et avoir de 4 à 7 millimètres, ...amètre du tuyau. Lorsque la rivure longitudinale est ...ève de donner au tuyau une forme circulaire exacte au ...illets.

...s diamètres qui se composent de quatre bouts, on ajuste ...parties, et on les force à entrer l'une dans l'autre au ... presse à vis horizontale, agissant sur le tuyau par l'in... ...'un tampon. Les rivets servant à réunir les bouts d'un ...sont écartés d'environ 0m,08.

...croisures et les rivures doivent être soudées avec le plus ... moyen d'un alliage à base de plomb très-liquide, afin ...xactement tous les interstices.

...xtrémités du tuyau on coule, au moyen de moules, des ...ons de plomb, à l'intérieur du tuyau pour le bout fe... ...xtérieur pour le bout mâle. Le moule est disposé de ma... ...saillie de plomb limite la partie bitumée. Ce petit man... ...nb a de 0m,05 à 0m,08 de longueur. Sur la partie mâle on ...tour, deux rainures pour les gros diamètres et une pour ...ns cette rainure, lors de la pose, on place une corde de ...rend le joint tout à fait étanche. Les tuyaux ainsi pré... ...ssayés à la presse hydraulique à une pression de 5 at... ...Si les soudures sont bien faites, il n'y a aucune fuite. Les ... alors goudronnés à l'extérieur et à l'intérieur, avec un ...er mélangé d'essence de térébenthine, puis enveloppés ... de toile très-légère de 0m,10 de largeur, contournée en ...enue aux extrémités avec du fil. Deux hommes saisissant

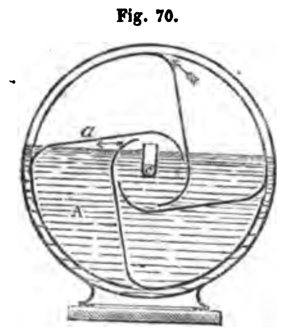
Dimensions, poids et prix des tuyaux employés par la compagnie Parisienne du gaz.

NATURE DES TUYAUX.	Diamètre.	$0^m,054$	$0^m.081$	$0^m.108$	$0^m.162$	$0^m.216$	$0^m.245$	$0^m.270$	$0^m.297$	$0^m.324$	$0^m.350$	$0^m.40$	$0^m.50$	$0^m.70$
TUYAUX TOLE ET BITUME à joints précis (Chameroy).	Épaisseur de la tôle en millim.	1.0	1.00	1.10	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.3	2.5	2.9	3.5
Longueur des tuyaux : $3^m.90$ à 4^m.	Poids par mètre.	$5^k.00$	$7^k.50$	$9^k.75$	$16^k.00$	$23^k.00$	$27^k.00$	$30^k.00$	$36^k.00$	$42^k.00$	$48^k.00$	$65^k.00$	$82^k.00$	$105^k.00$
Tolérance sur l'épaisseur de la tôle : grands diam $0^{mm}.2$, petits d. $0^{mm}.1$.	Prix du mètre (sans rabais) . .	$2^f.20$	$3^f.30$	$4^f.60$	$7^f.90$	$11^f.85$	$14^f.15$	$16^f.35$	$19^f.40$	$21^f.80$	$25^f.10$	$29^f.50$	$41^f.30$	$68^f.00$
Épaisseur du bitume :	*Id.* (rabais de 13.50 p. 100).	1 .90	2 .86	3 .98	6 .84	10 .25	12 .24	14 .15	16 .52	18 .86	21 .71	25 .52	35 .73	58 .80
Tuyaux de $0^m.054$ à $0^m.162$, 5 à 10 mil.	Prix de pose sans terrassement.	0 .20	0 .25	0 .30	0 .35	0 .55	0 .60	0 .75	0 .90	1 .20	1 .30	1 .50	2 .00	2 .25
Tuyaux de $0^m.216$ à $0^m.70$, 7 à 14 milli.	Prix par mètre, avec la pose. .	$2^f.10$	$3^f.11$	$4^f.28$	$7^f.19$	$10^f,80$	$12^f.84$	$14^f.90$	$17^f.42$	$20^f.06$	$23^f.01$	$27^f.02$	$37^f.73$	$61^f.05$

	Diamètre.	$0^m.08$	$0^m.10$	$0^m.15$	$0^m.20$	$0^m.25$	$0^m.30$	$0^m.35$	$0^m.50$	$0^m.70$
TUYAUX EN FONTE à joints précis.	Épaisseur en millimètres. . . .	6	7	8	9	10	11	12	15	17
(Chameroy).	Longueur.	$2^m.00$	$2^m.50$	$2^m.50$	$2^m.50$	$2^m.50$	$3^m.00$	$3^m.00$	$3^m.00$	$3^m.00$
25 fr. les 100 kilog.	Poids par tuyau.	$23^k.32$	$42^k.30$	$71^k.42$	$106^k.25$	$146^k.87$	$231^k.00$	$292^k.20$	$523^k.80$	$825^k.00$
1° *Épaisseurs Chameroy.*	Poids par mètre.	11 .66	16 .92	28 .57	42 .50	58 .75	77 .00	97 .40	174 .60	275 .00
	Prix par mètre.	$2^f.91$	$4^f.23$	$7^f.14$	$10^f.62$	$14^f.70$	$19^f.25$	$24^f.35$	$48^f.65$	$68^f.75$
	Manchon, fer et plomb. Prix par m.	0 .73	0 .75	1 .12	1 .76	2 .36	2 .42	2 .91	6 .18	8 .50
	Pose et accessoires.	0 .55	0 .60	0 .80	1 .00	1 .50	2 .00	2 .50	4 .00	5 .00
	Prix par mètre avec la pose. .	$4^f.19$	$5^f.58$	$9^f.06$	$13^f.38$	$18^f.56$	$23^f.67$	$29^f.76$	$53^f.83$	$82^f.25$
Idem.	Épaisseur en millimètres. . . .	6,5	7	7	8	8	9	9	11	14
Tolérance sur les poids : 5 p. 100.	Longueur.	$2^m.00$	$2^m.00$	$2^m.25$	$2^m.25$	$2^m.25$	$2^m.50$	$2^m.50$	$3^m.00$	$3^m.00$
2° *Épaisseurs égales à celles des tuyaux Fortin-Herrmann.*	Poids d'un tuyau.	$27^k.960$	$37^k.610$	$61^k.380$	$92^k.012$	$113^k.822$	$169^k.566$	$197^k.305$	$406^k.084$	$722^k.908$
	Poids par mètre courant. . . .	13 .985	18 .805	27 .288	40 .898	50 .588	67 .826	78 .058	123 .301	240 .970
	Prix par mètre courant. . . .	$3^f.47$	$4^f.70$	$6^f.82$	$10^f.22$	$12^f.65$	$16^f.96$	$19^f.75$	$35^f.75$	$60^f.25$
	Manchon (Prix par mètre). . .	0 .73	0 .75	1 .12	1 .70	2 .36	2 .42	2 .91	6 .18	8 .50
	Pose et accessoires.	0 .55	0 .60	0 .80	1 .00	1 .50	2 .00	2 .50	4 .00	5 .00
	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	$21^f.87$	[illegible]	[illegible]	[illegible]

TUYAUX EN FONTE.	Épaisseur en millimètres. . .	6.5	7	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	9	11	[illegible]
(Fortin-Herrmann).	Longueur.	2m.00	2m.00	2m.25	2m.25	2m.25	2m.50	2m.50	3m.00	3m.00
Tolérance sur les poids :	Poids par tuyau, densité 7.207.	26k.636	35k.819	58k.474	87k.630	108k.402	161k.491	187k.995	389k.287	688k.483
3 p. 100.	Poids par mètre courant. . . .	13 .318	17 .910	25 .986	38 .940	48 .170	64 .600	75 .200	129 .762	229 .494
	Poids des rondelles par mètre.	1 .076	1 .580	2 .348	3 .592	5 .418	7 .232	8 .988	12 .939	22 .984
	Poids par mètre avec rondelles.	14 .394	19 .490	28 .334	42 .532	53 .588	71 .832	84 .188	142 .701	252 .475
	Prix *id.* *id.*	3f.60	4f.90	7f.15	10f.70	13f.45	18f.05	21f.15	35f.60	63f.36
	Prix du plomb du joint par mètre	0 .60	0 .93	1 .23	1 .96	2 .54	3 .02	4 .02	5 .62	11f.60
24 fr. les 100 kilog.	Prix de pose et brevet.	0 .90	1 .05	1 .80	2 .40	2 .75	3 .15	3 .45	4 .55	7 .20
	Prix par mètre avec pose. . .	5f.40	6f.88	10f.18	15f.06	18f.74	24f.22	28f.60	45f.77	82f.16
Idem.	Prix par mètre avec rondelles.	3f.80	5f.40	7f.45	11f.15	14f.05	18f.80	22f.00	37f.10	66f.00
25 fr. les 100 kilog.	Prix par mètre compris la pose.	5 .30	7 .08	10 .48	15 .51	19 .34	24 .97	29 .45	47 .27	84 .80
TUYAUX EN FONTE.	Épaisseur en millimètres. . . .	5.5	6	6	7	7	8	8	10	14
(Fortin-Herrmann).	Longueur.	2m.00	2m.00	2m.25	2m.25	2m.25	2m.50	2m.50	3m.00	3m.00
Fabriqués à Torteron.	Poids d'un tuyau.	23k.14	30k.10	51k.62	80k.80	100k.00	151k.25	178k.45	402k.00	649k.00
(Boigues, Rambourg et Cie).	Poids par mètre.	11 .57	15 .09	22 .65	35 .61	44 .64	60 .51	70 .38	135 .46	216 .00
Épaisseurs réduites.	Poids des rondelles par mètre.	1 .26	1 .550	2 .348	3 .592	5 .418	7 .232	8 .988	12 .939	22 .981
Dans le calcul des prix on	Poids par mètre avec rondelles.	12 .83	16 .64	25 .00	39 .200	47 .16	67 .74	79 .380	148 .10	239 .00
augmente le poids nor-	Prix *id.* *id.*	3f.20	4f.27	6f.25	9f.80	11f.79	16f.93	19f.84	37f.02	59f.75
mal de la tolérance :	Prix du plomb du joint par mètre	0 .60	0 .93	1 .23	1 .96	2 .54	3 .02	4 .02	5 .62	11 .60
3 p. 100.	Prix de pose et de brevet. . .	0 .90	1 .05	1 .80	2 .40	2 .75	3 .15	3 .45	4 .55	7 .20
25 fr. les 100 kilog.	Prix par mètre, compris la pose.	4f.70	6f.25	9f.28	14f.16	17f.08	23f.10	27f.31	47f.19	78f.55
TUYAUX POUR BRANCHEMENTS EN PLOMB.	Diamètre.	0m.013	0m.020	0m.027	0m.035	0m.040	0m.050	0m.055	0m.080	0m.110
	Longueur.	10m.00	10m.00	10m.00	10m.00	10m.00	4m.00	4m.00	4m.00	4m.00
	Poids par mètre courant. . . .	1k.40	3k.00	4k.40	6k.25	7k.00	8k.75	10k.50	18k.00	24k.50
80 fr. les 100 kilog.	Prix par mètre ct posé, non compris la fouille, qui coûte 1f par mètre et 1f.25 sous macadam.	»	»	6f.30	7f.90	8f.50	11f.00	11f.00	16f.00	22f.00

Fig. 70.



387. *Compteur à gaz.* La fig. 70 est coupe perpendiculaire à l'axe d'un compteur, qui n'est autre chose qu'une espèce de roue à augets formés d'une tôle galvanisée, placée dans un cylindre horizontal rempli d'eau jusqu'à un niveau convenable. Le tuyau qui amène le gaz pénètre dans le cylindre par le haut d'une des extrémités, et vient déboucher dans l'axe de l'appareil en *c*. Le gaz en arrivant presse la palette *a* de l'auget A qu'il remplit, et fait tourner la roue. Sitôt qu'un auget est plein, mais seulement alors, il vient verser son gaz dans la partie supérieure du cylindre enveloppe, où se trouve le tuyau qui le conduit aux becs d'éclairage. Comme tout le gaz est obligé de passer dans les augets, on conçoit que connaissant la capacité des augets et le nombre de tours de la roue, on a la quantité de gaz consommé. Les aiguilles de trois cadrans fixés sur le devant du compteur, mis en mouvement par la roue elle-même, indiquent les volumes de gaz débités.

Le compteur doit être monté parfaitement de niveau, dans un endroit frais, mais protégé contre la gelée, plus bas que les becs qu'il doit desservir. Tous les mois, on doit s'assurer que l'eau a conservé son niveau dans le compteur; s'il y a une petite différence due à l'évaporation ou à la condensation, par des trous placés à des hauteurs convenables et fermés par des vis, on introduit ou on retire un peu d'eau. On a soin, pendant cette opération, de fermer le robinet de communication avec la canalisation de l'usine.

ÉTABLISSEMENT DES MANUFACTURES DITES INSALUBRES.

388. *Un décret du* 15 *octobre* 1810 et *une ordonnance du* 14 *janvier* 1815 régissent les manufactures et ateliers dangereux, insalubres et incommodes. Ces établissements sont divisés en trois classes, dont nous allons donner la nomenclature.

PREMIÈRE CLASSE.

Établissements et ateliers qui ne peuvent être formés dans le voisinage des habitations particulières, et pour lesquels il est nécessaire de se pourvoir d'une autorisation de Sa Majesté, accordée en conseil d'État.

(f.) signifie fabrique de.

Affinage des matières d'or et d'argent par l'acide sulfurique, quand les gaz, dégagés pendant cette opération, sont versés dans l'atmosphère.

Affinage des métaux au fourneau de coupelle, ou au fourneau à réverbère.

Allumettes (f.) préparées avec des poudres ou matières détonnantes ou fulminantes.

ıeries.
ıcaux (f. de sels) par la distillation ıatières animales, ou préparés au ı des eaux de condensation des ı d'éclairage.
ı Prusse (f.) lorsqu'on n'y brûle pas ıée et le gaz hydrogène sulfuré, etc.
ı Prusse (dépôts de sang destiné à brication du).
et immondices (dépôts de).
iers.
tion d'os d'animaux lorsqu'on n'y ı pas la fumée.
ı d'orfèvres (traitement des) par le ı.
ı gravelées (f.) lorsqu'on laisse ré- re la fumée au dehors.
ou débris d'animaux (dépôts de).
ı (rouissage du) en grand par son ı dans l'eau.
ı animal (f. ou révivification du) ı'on ne brûle pas la fumée.
ı de terre (épuration du) à vases rts.
ıes décolorants, *eau de javelle*, ıres de chaux (f. en grand des) des- ı au commerce.
ıte (f.).
à instruments (f.).
eries.
ıernis (f.).
ou huile épaisse à l'usage des tan- ı f.).
ıissage.
loirs ou cuisson des débris d'ani- ıx, intestins, etc.
ı (f.).
d'imprimerie (f.).
ıs animaux (dépôts et f.), pou- ıle, etc.
ılles ou amorces fulminantes (f.).
ı vernis (f.).
ıeaux (hauts).

Goudron (fabrication et travail du).
Graisses à feu nu (fonte des).
Huiles de lin (cuisson des).
Huile de pied de bœuf (f.).
Huile de poisson (f.).
Huiles de térébenthine et d'aspic (distillation en grand des).
Huile rousse (f.), extraite des crétons et débris de graisse à une haute température.
Noir d'ivoire et noir d'os (f.), lorsqu'on ne brûle pas la fumée.
Orseille (f.).
Porcheries.
Poudres fulminantes (f.).
Pyro-ligneux (fabrication de l'acide), lorsque les gaz se répandent dans l'air sans être brûlés.
Résines et matières résineuses (travail en grand des), soit pour la fonte et l'épuration de ces matières, soit pour en extraire la térébenthine.
Rouge d'Angleterre (f.) en vases ouverts.
Sabots (ateliers à enfumer les), dans lesquels il est brûlé de la corne ou autres matières animales, dans les villes.
Soufre (f. des fleurs de).
Soufre (distillation du).
Suif (fonderie de) à feu nu.
Sulfate de cuivre (f.), au moyen du soufre et du grillage.
Sulfate de soude (f.) en vases ouverts.
Sulfures métalliques (grillage des).
Sulfurique (f. d'acide).
Tabac (combustion des côtes de) en plein air.
Taffetas et toiles, cirés et vernis (f.).
Tourbe (carbonisation) en vases ouverts.
Tripiers.
Tueries dans les villes dont la population excède 10,000 âmes.
Vernis (f.).
Verreries.

ıemande en autorisation des établissements de la première classe est présentée ıfet, et affichée par son ordre dans toutes les communes, à 5 kilomètres de rayon.
ıre cette affiche de demande, il est également procédé à des informations *de com- et incommodo* par un commissaire spécial.
ıt particulier est admis à présenter ses moyens d'opposition; les maires des com- ı ont la même faculté.
ıy a des oppositions, le conseil de préfecture donne son avis, sauf la décision du ıl d'État. S'il n'y a pas d'opposition, la permission est accordée, s'il y a lieu, par ıfet, sans l'autorisation du ministre de l'intérieur.
ıl s'agit de fabrique de soude, ou si la fabrique est établie dans la ligne des douanes, ıecteur général des douanes est consulté.

Outre ces formalités, la formation des fabriques de ce genre ne peut avoir lieu qu'après que les agents forestiers en résidence sur les lieux ont donné leur avis sur la question de savoir si la production des bois dans le canton, et les besoins des communes environnantes, permettent d'accorder la permission.

L'autorité locale indique le lieu où les manufactures et ateliers compris dans la première classe peuvent s'établir, et exprime sa distance des maisons particulières. Tout individu qui fait des constructions dans le voisinage de ces manufactures et ateliers, après que la formation en a été permise, n'est plus admis à en solliciter l'éloignement.

La demande en autorisation est présentée sous forme de pétition respectueuse; elle contient les noms, titres et professions du requérant, la désignation bien précise du lieu où sera située l'usine, la nature des opérations qu'on y pratiquera et l'indication des moyens par lesquels on se propose d'éviter les inconvénients, afin que l'administration puisse juger si le lieu projeté pour édifier l'usine est suffisamment éloigné des habitations. Les indications de toute nature doivent être sincères et assez explicites; agir autrement, ce serait s'exposer à voir la requête rejetée, et à voir surgir de bien graves difficultés ultérieures.

A la demande doivent être joints deux exemplaires d'un plan indiquant l'ensemble des appareils, la disposition des ateliers et leur distance aux habitations voisines.

DEUXIÈME CLASSE.

Établissements et ateliers dont l'éloignement des habitations n'est pas rigoureusement nécessaire; mais dont il importe néanmoins de ne permettre la formation qu'après avoir acquis la certitude que les opérations qu'on y pratique sont exécutées de manière à ne pas incommoder les propriétaires du voisinage, ni à leur causer des dommages.

Acier (f.).
Affinage des matières d'or et d'argent par l'acide sulfurique, quand les gaz, dégagés pendant cette opération, sont condensés.
Battoirs à écorce dans les villes.
Bitumes, asphaltes (ateliers pour la fonte et la préparation des).
Blanc de baleine (raffineries de).
Blanc de plomb ou de céruse (f.).
Blanchiment des fils et tissus par le chlore et l'acide sulfureux, gazeux ou liquide.
Bleu de Prusse (f.) lorsqu'elles brûlent leur fumée et le gaz hydrogène sulfuré.
Buanderie des blanchisseurs de profession et les lavoirs qui en dépendent, quand ils n'ont pas un écoulement constant de leurs eaux.
Calcination d'os d'animaux lorsque la fumée est brûlée.
Carbonisation du bois à l'air libre ou en vases clos, lorsqu'elle se pratique dans des établissements permanents, et ailleurs que dans les bois et forêts, ou en rase campagne.
Carton (f.).
Cendres d'orfèvres (traitement des) par le mercure et la distillation des amalgames.
Cendres gravelées (f.) lorsqu'on brûle la fumée, etc.
Chamoiseurs.
Chandelles (f).
Chapeaux (f.).
Charbon animal (fabrication ou revivification du) lorsque la fumée est brûlée.
Charbons de bois (dépôts de) dans Paris.
Châtaignes (dessication des).
Chaux (fours à) permanents.
Chiffonniers.
Chlore (f.).
Chlorures décolorants, *eau de javelle, chlorure de chaux* (f.), quand ces produits sont employés dans l'établissement même, ou que la production ne dépasse pas 300 kilog. par jour.
Chromate de potasse (f.).
Chrysalides (dépôts de).
Cire à cacheter (f.).
Colle de peau de lapin (f.).
Corroyeurs.
Couverturiers.
Cuirs verts (dépôts de).
Cuivre (fonte et laminage du).

s (dérochage du) par l'acide nitrique.
eries d'eaux-de-vie et liqueurs.
(f. de sels d').
e (f.).
goudronné propre au doublage des
ires (f.).
ries au cubilot.
mes en grand au fourneau à réverbère.
s de grosses œuvres, où l'on fait
ge de moyens mécaniques pour mou-
', soit les marteaux, soit les masses
mises au travail.
à cuir les cailloux destinés à la fa-
ation des émaux.
et tissus d'or et d'argent (brûleries
rand des).
éclairage (ateliers de).
s (saurage des).
eyeurs.
essentielles (dépôts d').
(extraction des huiles et autres corps
contenus dans les eaux savonneuses
fabriques).
(épuration en grand des) au moyen
l'acide sulfurique.
chlorique (f. d'acide) en vases clos.
ateliers à enfumer le).
giniers.
iers.
s (dépôts de).
s à broyer le plâtre, la chaux et les
loux.
ns à farine dans les villes.
ue (f. de l'acide), *eau-forte*, par la
composition du nitre, au moyen de
cide sulfurique, dans l'appareil de
olf.
de fumée (f.).
d'ivoire et noir d'os (f.) lorsqu'on
lle la fumée.
minéral (carbonisation et préparation
des schistes bitumineux pour fabriquer
le).
Os (blanchiment des) pour les bouton-
niers.
Papier (f.).
Parcheminiers.
Phosphore (f.).
Pipes (f.).
Plâtre (fours à) permanents.
Plomb (fonte et laminage du).
Poêles et fourneaux en faïence et terre
cuite (f.).
Porcelaine (f.).
Pyro-ligneux (f. de toutes les combinaisons
de l'acide) avec le fer, le plomb ou la
soude.
Rouge d'Angleterre (f.) en vases clos.
Salaisons (dépôts de).
Secrétage des peaux ou poils de lièvre et
de lapin.
Soufre (fusion du) pour l'épurer et le
couler en canons.
Sucre (raffineries de).
Suif (fonderies de) au bain-marie ou à la
vapeur.
Sulfate de soude (f. du) en vases clos.
Sulfate de fer et de zinc (f.) par la disso-
lution des métaux dans l'acide sulfu-
rique.
Sulfures métalliques (grillage des) dans
des appareils propres à recueillir le
soufre et à utiliser l'acide sulfureux qui
se dégage.
Tabac (f.).
Tabatières en carton (f.).
Tanneries.
Tôle vernie (f.).
Tourbe (carbonisation de la) en vases clos.
Tuileries et briqueteries.
Vernis à l'esprit-de-vin (f.).
Zinc (usine à laminer le).

s formalités pour parvenir à l'autorisation sont les mêmes aujourd'hui pour les
ts de seconde classe que de première; seulement, l'instruction de la demande est
sommaire et moins minutieuse, tout en suivant les mêmes phases.

TROISIÈME CLASSE.

*lissements et ateliers qui peuvent rester sans inconvénient auprès des habitations
rticulières, et pour la formation desquels il est néanmoins nécessaire de se munir
une permission du préfet, qui prend préalablement l'avis du maire et de la police
cale.*

s réclamations qui peuvent avoir lieu contre la décision prise sont jugées en con-
de préfecture.

Acétate de plomb, *sel de Saturne* (f.).
Acétique (f. d'acide).
Ammoniaque ou alcali volatil (fabrication en grand de l').
Ardoises artificielles et mastics divers (f.).
Battage en grand et journalier de la laine et de la bourre.
Batteurs d'or et d'argent.
Blanchiment par les chlorures alcalins.
Blanc d'Espagne (f.).
Bois doré (brûleries de).
Borax (raffinage du).
Bougies (f.).
Boutons métalliques (f.).
Briqueteries ne faisant qu'une seule fournée en plein air, méthode flamande.
Briquets phosphoriques et oxygénés (f.).
Buanderies des blanchisseurs de profession et les lavoirs qui en dépendent quand les eaux ont un écoulement constant.
Camphre (raffinage du).
Caractères d'imprimerie (fonderie de).
Carbonate de soude (f.).
Cendres (laveurs de).
Cendres bleues et autres précipités du cuivre (f.).
Chantiers et dépôts de bois à brûler et de charbon de bois dans les villes.
Chaux (fours à) ne travaillant pas plus d'un mois par année.
Chicorée-café (f.).
Chromate de plomb (f.).
Ciriers.
Colles de parchemin et d'amidon (f.).
Corne (travail de la) pour la réduire en feuilles.
Dégraisseurs.
Doreurs sur métaux.
Eau seconde (f.), alcali caustique en dissolution des peintres en bâtiment.
Échaudoirs dans lesquels on traite les animaux pour séparer le poil de la peau.
Encre à écrire (f.).
Engraissage des oies (établissement en grand pour l').
Essayeurs.
Étain (f. de feuilles d').
Féculeries.
Fer-blanc (f.),
Fondeurs au creuset.
Fromages (dépôts de).
Gélatine (f.).
Glaces (étamage des).
Grillage des tissus de coton par le gaz (atelier de).
Laques (f. de).
Lavoirs à laine (établissement des).
Lustrage des peaux.
Moulins à huile.
Nitre ou salpêtre (fabrication et raf. de).
Ocre jaune (calcination de l') pour le convertir en ocre rouge.
Papiers peints (f.).
Plâtre (fours à) ne travaillant pas plus d'un mois par an.
Plomb de chasse (f.).
Potasse (f).
Potiers d'étain.
Potiers de terre.
Sabots (ateliers à enfumer les).
Savonneries.
Sel (raffineries de).
Sulfate de cuivre (f.) par voie humide.
Sulfate de potasse (raffinage du).
Sulfate de fer et d'alumine; extraction de ces sels des matériaux qui les contiennent tout formés, et transformation du sulfate d'alumine en alun.
Sirop de fécule (extraction du).
Tartre (raffinage du).
Teinturiers.
Toiles peintes (ateliers de).
Tréfileries.
Tueries dans les communes dont la population est au-dessous de 10,000 habitants.
Vacheries dans les villes dont la population excède 5,000 habitants.
Vert-de-gris et verdet (f.).
Viandes (salaison et préparation des).
Vinaigre (f.).

L'accomplissement des formalités prescrites pour l'établissement des manufactures comprises dans ces trois classes, ne dispense pas de celles qui sont prescrites pour la formation des établissements qui sont placés dans le rayon des douanes ou sur une rivière, qu'elle soit navigable ou non.

Les attributions données aux préfets, relativement à la formation des établissements dangereux, insalubres ou incommodes, sont exercées par le préfet de police dans toute l'étendue du département de la Seine, et dans les communes de Saint-Cloud, de Meudon et de Sèvres, du département de Seine-et-Oise.

TROISIÈME PARTIE.

Machines à vapeur.

———

!. *Dénomination des machines à vapeur.*

chine sans détente ni condensation. Ce sont les machines dans
lles la vapeur agit à pleine pression pendant toute la course du
, et où elle se dégage librement dans l'atmosphère après son
.

chines à condensation sans détente. Ce sont les machines dans
lles la vapeur agit à pleine pression pendant toute la course du
, mais où elle se condense après son action, de manière à
r un vide plus ou moins parfait derrière le piston.

hines à détente sans condensation. Ce sont les machines dans
lles la vapeur n'agit à pleine pression que pendant une partie
course du piston, pour agir seulement en se détendant pendant
te de la course, et dans lesquelles la vapeur se dégage librement
l'atmosphère après son action.

chine à détente et à condensation. Ce sont les machines dans
lles la vapeur agit à pleine pression pendant une portion de la
e du piston et par détente pendant l'autre portion, et dans les-
s la vapeur se condense après son action.

machines à vapeur prennent encore les dénominations de :

chines à basse pression. Ce sont les machines dans lesquelles
ession absolue de la vapeur dans la chaudière est inférieure à
mosphères (336).

chines à moyenne pression. Ce sont les machines où la pression
ue de la vapeur dans la chaudière varie de 2 à 4 atmosphères.

chines à haute pression. Ce sont celles où la pression absolue
vapeur dans la chaudière dépasse 4 atmosphères. En Amérique,
pression absolue est portée quelquefois à 10 et jusqu'à 12 at-
hères.

Il convient de distinguer les machines dont la vitesse du piston ne dépense pas 1^m à $1^m,40$ par seconde, dites *machines à petite ou moyenne vitesse*, de celles dont la vitesse du piston est plus grande et que l'on appelle *machines à grande vitesse*.

Une machine à vapeur est dite *à simple effet* quand la vapeur n'agit que sur une seule face du piston, et *à double effet* quand les deux faces du piston sont alternativement pressées par la vapeur.

Dans l'industrie, on désigne aussi les machines à vapeur par le nom de leurs inventeurs; mais alors on désigne plutôt un mode d'agencement de pièces imaginé par l'inventeur, que le mode d'emploi de la vapeur.

TRAVAIL THÉORIQUE PRODUIT PAR LA VAPEUR.

390. *Travail théorique produit par un kilogramme de vapeur, quand on ne fait pas usage de la détente.* En négligeant le frottement du piston et de sa tige, et en supposant un vide parfait sur l'une des faces du piston, le travail produit par un kilog. de vapeur agissant sur l'autre face est, en supposant qu'il n'y a pas refroidissement de la vapeur :

$$T_m = h\pi r^2 z = Vh.$$

T_m	travail produit, en grandes unités dynamiques (34);
h	pression de la vapeur sur le piston, exprimée en mètres de hauteur d'eau;
r	rayon du piston, en mètres;
z	espace parcouru par le piston, en mètres;
πr^2	surface du piston, en mètres carrés (*Int.*, 668);
$h\pi r^2$	force avec laquelle la vapeur sollicite le piston, en unités de 1000 kilog.;
$V=\pi r^2 z$	volume engendré par le piston ou volume d'un kilogramme de vapeur sous la pression h.

Si le vide n'existait pas derrière le piston, ou s'il n'était fait qu'imparfaitement, comme cela a toujours lieu dans la pratique, en désignant par h' la pression en mètres d'eau qui en résulterait derrière le piston, on aurait

$$T_m = Vh - Vh' = V(h - h').$$

...EAU des valeurs de T_m, c'est-à-dire des quantités théoriques de travail ...duites par un kilogramme de vapeur à différentes pressions, suivant que ... = 10m.3330, pression atmosphérique, ou que h' = 0.

...ION ABSOLUE DE LA VAPEUR		VALEUR DE $\varpi r^{b}z$, ou volume de 1 kilogramme de vapeur (282).	VALEUR DE T_m en grandes unités dynamiques quand	
...mosphères.	en mètres de hauteur d'eau.		$h'=0$.	$h'=10^m.3330$.
		m. cub.		
0.25	2.583	6.114	15.79	— 17.39
0.50	5.166	3.191	16.49	— 16.49
0.75	7.750	2.209	17.12	— 5.71
1.00	10.333	1.696	17.52	0
1.25	12.916	1.381	17.84	+ 3.57
1.50	15.499	1.160	18.12	6.04
1.75	18.083	1.044	18.34	7.86
2.00	20.666	0.896	18.52	9.26
2.25	23.249	0.806	18.74	10.41
2.50	25.832	0.732	18.91	11.35
2.75	28.416	0.671	19.07	12.13
3.00	31.000	0.619	19.19	12.79
3.25	33.582	0.576	19.34	13.39
3.50	36.165	0.538	19.46	13.90
3.75	38.748	0.505	19.57	14.35
4.00	41.332	0.476	19.67	14.75
4.25	43.915	0.449	19.72	15.08
4.50	46.498	0.428	19.90	15.48
4.75	49.082	0.407	19.96	15.77
5.00	51.665	0.389	20.10	16.08
5.50	56.831	0.356	20.23	16.55
6.00	61.997	0.328	20.34	16.96
6.50	67.164	0.306	20.55	17.39
7.00	72.330	0.286	20.69	17.73
7.50	77.497	0.269	20.85	18.07
8.00	82.663	0.254	21.00	18.37
8.50	87.830	0.240	21.08	18.60
9.00	92.996	0.228	21.20	18.85
9.50	98.163	0.217	21.30	19.06
10.00	103.329	0.208	21.49	19.34

...après ce tableau, on voit que l'avantage de la condensation de la ...ur derrière le piston diminue à mesure que la pression de la va... r sur le piston augmente ; dans la pratique, cet avantage n'est guère ... que pour les pressions qui ne dépassent pas 4 ou 5 atmosphères.

...1. *Travail théorique produit par un kilogramme de vapeur d'eau ...d on emploie la détente.* En admettant la loi de Clément Desormes ...), que la même quantité de chaleur suffit pour constituer vapeur ...log. d'eau, quel que soit le volume de la vapeur, il s'ensuit que la ...le Mariotte sur l'influence de la pression sur le volume des gaz (281) ...plique à la vapeur comme aux gaz, et que, pour un même poids ...vapeur, les volumes sont en raison inverse des pressions. Le chan-

gement de température de la vapeur modifie cette loi ; mais, comme dans les machines à vapeur la température est peu différente pour les pressions auxquelles on emploie la vapeur, on peut négliger l'effet de la dilatation, dont le coefficient n'est que de 0,00367 environ par degré. L'eau entraînée par la vapeur, qui est de 5 ou 6 pour 100 au minimum et parfois beaucoup plus, s'oppose encore à la réalisation de la loi de Mariotte.

De ces hypothèses, il résulte que le travail total théorique produit par 1 kilog. de vapeur qui agit par détente pendant une portion de la course du piston est, en supposant un vide parfait derrière le piston,

$$\mathcal{T}_m = Vh + Vh \log\left(\frac{z}{z_0}\right) \times 2,3026.$$

$\mathcal{T}_m$ travail produit, en grandes unités dynamiques (34) ;
V volume en mètres cubes du kilog. de vapeur avant la détente, c'est-à-dire à la pression h (tableau du n° 390) ;
h pression de la vapeur avant la détente, en mètres de hauteur d'eau ;
z course totale du piston, en mètres ;
z_0 espace parcouru par le piston avant la détente ;
Vh travail produit avant la détente (390) ;
$Vh \log\left(\frac{z}{z_0}\right) \times 2,3026$ travail produit par la détente ;
$\frac{1}{0,4342945} = 2,3026$ nombre par lequel il faut multiplier le logarithme vulgaire d'un nombre pour avoir son logarithme népérien (*Int.*, 385).

Selon que, dans une machine à vapeur à détente, $\frac{z}{z_0}$ est égal à 2, 3, 4, etc., c'est-à-dire que $\frac{z_0}{z}$ est égal à 1/2, 1/3, 1/4, etc., on dit que la détente est au 1/2, au 1/3, au 1/4, etc. Pour $\frac{z_0}{z} = 0,28$, par exemple, $\frac{z}{z_0} = \frac{1}{0,28}$.

…LEAU des valeurs de $A = Vh \log \left(\frac{z}{z_0}\right) \times 2.3026$, *c'est-à-dire des quantités de …ail théoriques produites par un kilog. de vapeur, pour différentes valeurs de … le travail* Vh *produit avant la détente* (390) *étant représenté par* 1; *du travail … l* $\mathcal{T}_m = Vh + A$, *et du rapport* R *de* $\mathcal{T}_m$ *au travail* $Vh\,\frac{z}{z_0}$, *que produirait la va… r si elle agissait à pleine pression sans détente, pendant la course complète du …ton.*

Valeur de				Valeur de			
$\frac{z_0}{z}$	A	$\mathcal{T}_m$	R	$\frac{z_0}{z}$	A	$\mathcal{T}_m$	R
	1.6052	5.6052	0.056	0.36	1.0217	2.0217	0.729
	3.9120	4.9120	0.098	0.37	0.9943	1.9943	0.738
	3.5066	4.5066	0.135	0.38	0.9676	1.9676	0.748
=1/25	3.2189	4.2189	0.179	0.39	0.9416	1.9416	0.757
=1/20	2.9958	3.9958	0.200	0.40	0.9163	1.9163	0.767
	2.8134	3.8134	0.229	0.41	0.8917	1.8917	0.776
67=1/15	2.7081	3.7081	0.247	0.42	0.8674	1.8674	0.784
	2.6703	3.6703	0.257	0.43	0.8440	1.8440	0.793
	2.5257	3.5257	0.282	0.44	0.8209	1.8209	0.804
	2.4080	3.4080	0.307	0.45	0.7985	1.7985	0.810
=1/10	2.3026	3.3026	0.330	0.46	0.7765	1.7765	0.817
	2.2073	3.2073	0.353	0.47	0.7550	1.7550	0.825
11=1/9	2.1972	3.1972	0.355	0.48	0.7340	1.7340	0.832
	2.1203	3.1203	0 374	0.49	0.7133	1.7133	0.840
5=1/8	2.0795	3.0795	0.385	0.50=1/2	0.6932	1.6932	0.846
	2.0400	3.0400	0.389	0.51	0.6733	1.6733	0.854
	1.9661	2.9661	0.415	0.52	0.6539	1.6539	0.860
3=1/7	1.9469	2.9469	0.421	0.53	0.6348	1.6348	0.866
	1.8971	2.8971	0.435	0.54	0.6162	1.6162	0.873
	1.8326	2.8326	0.453	0.55	0.5978	1.5978	0.879
67=1/6	1.7918	2.7918	0.465	0.56	0.5798	1.5798	0.885
	1.7720	2.7720	0.471	0.57	0.5621	1.5621	0.890
	1.7148	2.7148	0.489	0.58	0.5447	1.5447	0.896
	1.6607	2.6607	0.506	0.59	0.5276	1.5276	0.901
=1/5	1.6094	2.6094	0.522	0.60	0.5108	1.5108	0.906
	1.5607	2.5607	0.538	0 61	0.4943	1.4943	0.912
	1.5207	2.5207	0.555	0.62	0.4780	1.4780	0.916
	1.4697	2.4697	0.569	0.63	0.4620	1.4620	0.921
	1.4271	2.4271	0.583	0.64	0.4460	1.4460	0.925
=1/4	1.3863	2.3863	0.597	0.65	0.4307	1.4307	0.9299
	1.3471	2.3471	0.610	0.66	0.4155	1.4155	0.9342
	1.3093	2.3093	0.624	0.67	0.4012	1.4012	0.9388
	1.2730	2.2730	0.636	0.68	0.3853	1 3853	0.9420
	1.2378	2.2378	0.649	0.69	0.3718	1.3718	0.9465
	1.2040	2.2040	0.661	0.70	0.3563	1.3563	0.9494
	1.1712	2.1712	0.673	0.71	0.3424	1.3424	0.9531
	1.1394	2.1394	0.685	0.72	0.3284	1.3284	0.9564
	1.1087	2.1087	0.696	0.73	0.3147	1.3147	0.9597
13=1/3	1.0986	2.0986	0.700	0.74	0.3011	1.3011	0.9628
	1.0788	2.0788	0.707	0.75	0.2877	1.2877	0.9658
	1.0498	2.0498	0.717	0.76	0.2723	1.2723	0.9669

Valeur de				Valeur de			
$\frac{z_0}{z}$	A	T_m	R	$\frac{z_0}{z}$	A	T_m	R
0.77	0.2614	1.2614	0.9713	0.89	0.1164	1.1164	[illegible]
0,78	0.2486	1.2486	0.9723	0.90	0.1054	1.1054	[illegible]
0.79	0.2357	1.2357	0.9762	0.91	0.0943	1.0943	[illegible]
0.80	0.2231	1.2231	0.9785	0.92	0.0833	1.0833	[illegible]
0.81	0.2107	1.2107	0.9807	0.93	0.0725	1.0725	[illegible]
0.82	0.1984	1.1984	0.9827	0.94	0.0618	1.0618	[illegible]
0.83	0.1863	1.1863	0.9846	0.95	0.0513	1.0513	[illegible]
0.84	0.1743	1.1743	0.9864	0.96	0.0408	1.0408	[illegible]
0.85	0.1625	1.1625	0.9881	0.97	0.0307	1.0307	[illegible]
0.86	0.1507	1.1507	0.9896	0.98	0.0202	1.0202	[illegible]
0.87	0.1392	1.1392	0.9911	0.99	0.0110	1.0110	[illegible]
0.88	0.1278	1.1278	0.9925	1.00	0.0011	1.0011	[illegible]

Dans la pratique, il ne convient guère de descendre au-dessou $\frac{z_0}{z} = 0,10$; car, une fois cette limite dépassée, le vide imparfait d rière le piston et les divers frottements de la machine absorbent général un travail plus considérable que celui correspondant pr par la vapeur; c'est-à-dire qu'une fois le piston arrivé au point donne $\frac{z}{z_0} = 10$, le travail produit par la machine pendant le reste la course du piston est négatif (405).

MACHINES A VAPEUR SANS DÉTENTE NI CONDENSATION.

392. *Effet d'une machine à vapeur sans détente ni condensation.* D'après ce qui a été dit n° 390, l'effet théorique produit par la vap dépensée en une seconde est

$$T'_m = V(h - h') = \pi r^2 v(h - h').$$

T'_m travail développé par la vapeur dépensée en une seconde;
$V = \pi r^2 v$ volume engendré par le piston ou volume de vapeur dépensé par seconde;
v vitesse moyenne du piston par seconde;
h pression absolue de la vapeur dans le cylindre;
h' pression derrière le piston.

Pour avoir le travail moteur pratique que peut transmettre en 1 seconde l'arbre du volant de la machine, il faut affecter T_m d coefficient k qui dépend des différentes résistances passives de la chine, et auquel on ne peut assigner de valeur moyenne qu'en

t en bloc ces résistances ; ainsi, on a, en représentant par T_m ce
il pratique,

$$T_m = kT_m = \pi r^2 vk(h-h').$$

a théoriquement $h' = 10^m,333$, pression atmosphérique ; mais,
se de la faible valeur de l'ouverture du tiroir, qui est le 1/25 de
ction du cylindre dans les machines à basse pression, et le 1/60
ment dans les machines à haute pression, la vapeur ne sort pas
ment du cylindre, et on a $h' = 10^m,333$ plus 1/10 à 1/8 de $10^m,333$.
près M. Poncelet, quand le tuyau qui amène la vapeur de la chau-
au cylindre a un diamètre convenable, la tension de la vapeur est
20 moins élevée dans la chemise que dans la chaudière ; mais il
ient, dans l'établissement d'une machine, afin de ne pas être en
it, de compter, pour des pressions de 4 à 5 atmosphères, que la
on absolue de la vapeur est de 1/2 atmosphère moins élevée
le cylindre que dans la chaudière.
diamètre du tuyau qui amène la vapeur varie du 1/7 au 1/8 de
du piston ; cependant, pour une machine de 12 à 16 chevaux, il
nvient guère de donner à ce tuyau moins de $0^m,055$ de diamètre.

BLEAU des valeurs moyennes du coefficient k pour des machines en bon état ordinaire d'entretien.

FORCE DE LA MACHINE.	VALEUR DE k.
De 4 à 8 chevaux.	0.61
De 10 à 20 *id.*	0.70
De 30 à 50 *id.*	0.79
De 60 à 100 *id.*	0.85

n tenant la machine dans un mauvais état d'entretien, les valeurs
coefficient k diminuent sensiblement ; il convient, pour l'établis-
ment d'une machine qui doit être bien tenue, de ne compter que sur
valeurs précédentes.

303. *Calcul des dimensions d'une machine sans condensation ni
tente.* Soit à déterminer, par exemple, les dimensions d'un telle ma-
ine capable de faire fonctionner la machine soufflante d'un haut-
urneau de $9^m,10$ de hauteur, marchant au charbon de bois. La ma-
ine doit fournir par seconde $0^{mc},462$ d'air froid à la pression de
049 de mercure près de la buse, qui a $0^m,08$ de diamètre ; le rap-
rt du volume d'air lancé au volume engendré par le piston est de
18, et le travail absorbé est de 8 chevaux.

Pression absolue de la vapeur dans le cylindre 3,5 atmosphères; il conviendrait timbrer la chaudière à 4 atmosphères environ (337);
Vitesse moyenne du piston par seconde, $0^m,90$;
Valeur de $k = 0,61$;
Valeur de $h = 10^m,333 \times 3,5 = 36^m,17$;
Valeur de $h' = 10^m,333 \times 1,125 = 11^m,63$.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule

$$T_m = \pi r^2 vk(h - h'),$$

on a

$$8 \times 0,075 = 3,14 \times r^2 \times 0,90 \times 0,61(36,17 - 11,63),$$

d'où l'on tire $r = 0^m,12$, et par suite le diamètre du piston $d = 0^m,24$
Le volume de vapeur dépensé est, par seconde,

$$\pi r^2 v = 3,14 \times 0,12 \times 0,12 \times 0,90 = 0^{mc},0407,$$

et par heure

$$0^{mc},0407 \times 3600 = 147 \text{ mètres cubes.}$$

La densité de la vapeur à 3,5 atmosphères étant 0,00185886 (n°2 le poids de vapeur dépensé par heure est

$$1^k,859 \times 147 = 273 \text{ kilog.}$$

Comme dans une machine, même bien faite, il y a 1/20 de perte de vapeur, la dépense de vapeur est donc $273 + \frac{273}{20} = 287$ kilog.; quantité qu'il faut encore augmenter de son 1/10 environ, pour tenir compte du refroidissement de toutes les parties qui contiennent la vapeur, et qu'on suppose ne donner lieu à aucune fuite; de sorte que pour obtenir la force de 8 chevaux, il faut former 316 kilog. de vapeur, c'est-à-dire 39 kilog. environ par force de cheval.

Supposant que 1 kilog. de houille produise 6 kilog. de vapeur on en brûlera $\frac{316}{6} = 52^k,7$ pour obtenir la force de 8 chevaux; ce qui fait $6^k,6$ par force de cheval et par heure. Pour une plus forte machine cette quantité serait moindre.

On peut diminuer la consommation de combustible de 1/10 environ en chauffant à 70 ou 80° l'eau d'alimentation, qui est moyennement à 12°, avec la vapeur qui sort du cylindre.

Supposant que chaque mètre carré de surface de chauffe produise 20 kilog. de vapeur (327), cette surface sera de $\frac{316}{20} = 15^{mc},80$; ce qui fait $1^{mc},98$ par force de cheval. Cette surface serait moins considérable pour des machines puissantes. A cause des fuites accidentelles de vapeur qui peuvent avoir lieu, il vaut toujours mieux avoir un excès de surface de chauffe.

ıs toutes les machines à vapeur, on devrait prendre la hauteur lindre égale au diamètre, afin que, pour un même volume, la :e totale du cylindre, qui est une surface refroidissante à l'in-r aussi bien qu'à l'extérieur, fût un minimum; mais, pour di-:r le renouvellement des espaces nuisibles, on augmente la ur du cylindre. Les machines sans détente ni condensation con-ıant beaucoup de combustible, elles ne sont employées que dans s où la machine doit être simple, ou dans les localités riches en ıstible; on tient alors peu compte du refroidissement du cy-:, dont la hauteur varie de 1,8 à 2,5 fois le diamètre.

peut rendre bien étanche le piston en donnant à sa garniture lique une hauteur de $0^m,05$ à $0^m,06$.

Angleterre, la vitesse du piston est de 3 pieds par seconde ì; en France, elle varie ordinairement de $0^m,80$ à $1^m,10$; en ique, on l'a portée à 2 mètres, $2^m,50$ et même 3 mètres (402). les locomotives (quatrième partie), la course des pistons étant 46, et le diamètre des roues motrices de $1^m,67$, ce qui fait $5^m,24$ conférence, à la vitesse de 10 lieues à l'heure, chaque piston urt en une seconde

$$\frac{10 \times 4000}{3600} \times \frac{2 \times 0,46}{5,24} = 1^m,95.$$

le vitesse atteint jusqu'à $3^m,50$.

nombre de coups de piston (un coup de piston comprend une ée et une descente), c'est-à-dire de tours de volant, varie de 25 ıar minute pour des machines de 15 à 20 chevaux; au-dessous chevaux, on va à 35 et même 40 coups. Dans l'exemple précé-de locomotives, le nombre de coups est 127.

pression absolue de la vapeur dans la chaudière varie de 5 à ıosphères; au-dessus de cette limite, les fuites de vapeur et les ions engendrées par une aussi forte pression compensent l'aug-ation de travail; de plus, la marche de la machine est irrégu- En France, on ne dépasse pas 7 atmosphères; en Angleterre, tient ordinairement entre 3 et 4 atmosphères; en Amérique, on ouve bien de marcher à 10 atmosphères, et on atteint jusqu'à mosphères.

4. *Travail absorbé par l'alimentation d'une chaudière.* Lorsque ession absolue dans la chaudière est une atmosphère, le travail ique absorbé pour y introduire un kilogramme d'eau est nul; si pression est 2 atmosphères, ce travail est $10^{km},333$, et si elle + 1 atmosphères, ce travail devient $10^{km},333 \times n$: ainsi, pour =3 atmosphères, il est $10,333 \times 2 = 20^{km},666$. Le travail pratique ouble du travail théorique; de sorte que, dans ce cas, il est de 332, c'est-à-dire les 0,0032 de l'effet théorique 12790 kilogram-

mètres, produit par 1 kilog. de vapeur à la même pression et sans condensation (390). Ce rapport augmente rapidement avec la pression ainsi, à $n+1=6$ atmosphères, il est 0,0061, et à $n+1=10$ atmosphères, 0,0096.

395. *Volant.* Le volant se calcule à l'aide de la formule

$$P = \frac{4645n}{mV^2} K, \qquad \text{(page 71)}$$

dans laquelle, pour les machines à balancier et pour le coefficient de régularité de Watt $K=32$, le coefficient numérique 4645 est applicable aux bielles infinies, et devient 5227, 5528, 5829, suivant que la longueur de la bielle est respectivement égale à 6, 5, 4 fois celle de la manivelle. Pour les machines sans balancier, la longueur de la bielle étant égale à 5 fois celle de la manivelle, pour $K=32$, le coefficient numérique est respectivement 5592, 1531, 416 pour une manivelle simple, deux manivelles à angle droit, trois manivelles faisant des angles égaux.

MACHINES A VAPEUR A CONDENSATION SANS DÉTENTE.

396. Les machines à condensation sans détente sont les machines dites de Watt, dans lesquelles la pression de la vapeur est ordinairement inférieure à 1,25 atmosphère.

La fig. 71 est la coupe par l'axe d'une de ces machines. Quoiqu'il n'y ait peut-être pas deux constructeurs qui composent leurs machines identiquement l'un comme l'autre, quand on aura bien compris la description suivante, on ne sera nullement embarrassé pour s'expliquer le mécanisme d'une machine à vapeur quand on la verra toute montée ou en dessin, quel que soit du reste le système de la machine.

A cylindre à vapeur entouré d'une enveloppe en fonte pour diminuer le refroidissement;

B piston;

C tige;

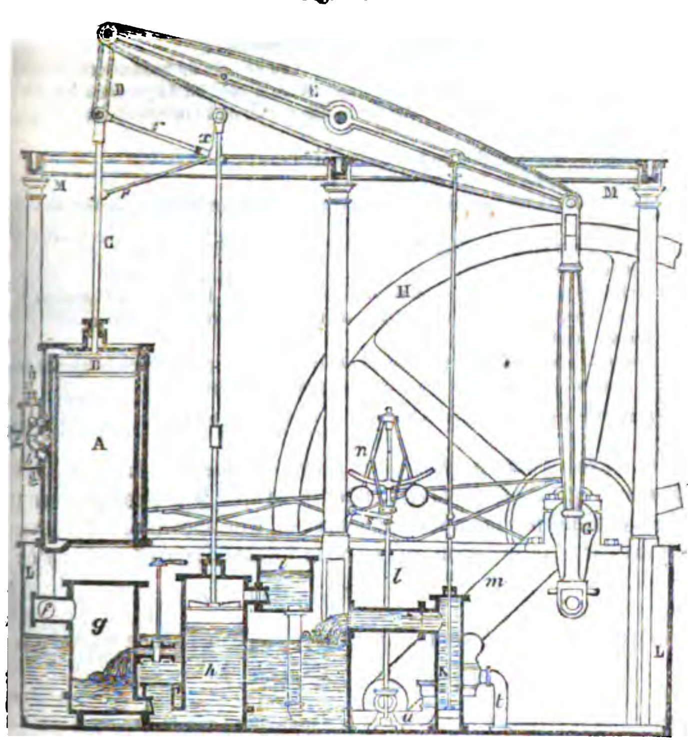
D *grandes chapes* du parallélogramme; elles s'articulent avec le balancier et avec un petit axe qui porte un manchon dans lequel se fixe le haut de la tige C;

x *chapes de la pompe à air* et de la pompe alimentaire; elles sont reliées au milieu de leur longueur par un axe auquel sont fixées les tiges des pompes à air et à eau froide;

r *guides* formant un parallélogramme avec l'axe du balancier et les chapes; ils s'articulent à leurs extrémités avec des axes, dont l'un est percé d'une lunette pour laisser passer les tiges de pompes;

p *contre-guides* ou *contre-balanciers*; ils s'articulent à une extrémité avec le petit axe à lunette dont il vient d'être question, et à l'autre à de petits axes fixés à l'entablement de la machine. Le mouvement horizontal de ces contre-guides étant contraire à celui du balancier, il en résulte que la tige C et celles des pompes se meuvent verticalement;

Fig. 71.



balancier; il communique le mouvement à la manivelle G, par l'intermédiaire de la bielle ;

manivelle fixée sur l'arbre moteur ;

volant monté sur l'arbre moteur;

bache en fonte dans et sur laquelle sont fixés les différents organes de la machine ;

entablement en fonte;

tuyau qui amène la vapeur ; il est garni d'une valve destinée à régler l'arrivée de la vapeur ;

caisse en fonte, dite *boîte à vapeur*, dans laquelle arrive la vapeur ;

d e canaux établissant la communication entre la caisse *b* et le haut et le bas du cylindre ;

canal communiquant avec le condenseur ;

tiroir destiné à distribuer la vapeur. Le piston B étant arrivé en haut de sa course, supposons que la tige *z* fasse baisser le tiroir, le canal *d* débouche dans la caisse *b* et la vapeur arrive sur le piston, tandis que le canal *o* se met en communication avec celui *e* et la vapeur qui est sous le piston va au condenseur. Le piston étant arrivé au bas de sa course, la tige *z* soulève le tiroir, le canal *e* communique avec la boîte *b*, celui *d* avec le condenseur, le piston B remonte, et ainsi de suite ;

f tuyau par lequel la vapeur se rend du canal *o* dans le condenseur;
g condenseur; un robinet dont la tige s'élève au-dessus du niveau de l'eau dans la bache L règle l'entrée de l'eau dans le condenseur;
h *pompe à air;* elle est destinée à retirer l'eau chaude du condenseur. La pompe d'alimentation de la chaudière étant placée à côté de la pompe à air, elle est invisible dans le dessin; elle foule une partie de l'eau chaude du condenseur dans la chaudière;
i réservoir dans lequel la pompe à air élève l'eau;
u tuyau de départ de l'eau du réservoir *i;*
K pompe élévatoire fournissant toute l'eau froide nécessaire au service de la machine;
t tuyau d'aspiration de l'eau froide;
n pendule conique (123);
s levier coudé recevant le mouvement du manchon inférieur du pendule et le transmettant, par l'intermédiaire d'une tige, à la valve régulatrice *a;*
l axe du pendule conique;
m courroie passant sur l'arbre moteur et transmettant, par l'intermédiaire de roues coniques, le mouvement à l'axe *l* du pendule conique.

Le fond et le couvercle du cylindre se garnissent de robinets.

397. *Effet d'une machine à vapeur à condensation sans détente.* D'après ce qui a été dit (390), l'effet théorique $\mathcal{T}'_m$ produit dans une telle machine, par la vapeur dépensée en une seconde, est, en représentant par h' la pression due au vide imparfait derrière le piston.

$$\mathcal{T}'_m = V(h - h') = \pi r^2 v(h - h').$$

Le travail pratique dont on peut disposer sur l'arbre du volant est

$$\mathcal{T}_m = k\mathcal{T}'_m = \pi r^2 vk(h - h'). \quad (a)$$

Les lettres de ces formules ont les mêmes significations qu'aux n°s 390 et 392.

TABLEAU des valeurs moyennes du coefficient k.

FORCE DE LA MACHINE.	VALEUR DE *k*.
De 4 à 8 chevaux.	0.60
De 10 à 20 *id.*	0.67
De 30 à 50 *id.*	0.73
De 60 à 100 *id.*	0.78

398. *Calcul des dimensions d'une machine à condensation sans détente.* Soit à déterminer les dimensions d'une machine capable de faire fonctionner 62 machines à lainer les draps, semblables à celles de l'établissement de la Vierge, à Sedan, où, d'après M. Poncelet, une machine de 20 chevaux en fait fonctionner 50.

La force de la machine est de 25 chevaux environ. Supposons la pression absolue de la vapeur dans le cylindre égale à une atmo-

ıre, la pression derrière le piston à 1/7 d'atmosphère, et la vitesse enne du piston à 1 mètre par seconde.

ı a $k = 0{,}70$, $h = 10^m{,}333$, $h' = 1^m{,}476$ et $v = 1$ mètre.

mplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule précé-e (a), on a

$$25 \times 0{,}075 = 3{,}14 \times r^2 \times 1 \times 0{,}70(10{,}333 - 1{,}476);$$

l'on tire $r = 0^m{,}31$, et par suite le diamètre du piston $d = 0^m{,}62$. volume de vapeur dépensé par seconde est

$$\pi r^2 v = 3{,}14 \times 0{,}31 \times 0{,}31 \times 1 = 0^{m.cub.}{,}302\,;$$

ıi fait par heure

$$0{,}302 \times 3600 = 1086 \text{ mètres cubes.}$$

atmosphère, la densité de la vapeur étant 0,00058955 (n° 292), ids de vapeur dépensé par heure est

$$0{,}58955 \times 1086 = 640 \text{ kilogrammes.}$$

ıs une bonne machine de ce genre, il faut augmenter cette dé- de vapeur de 1/10 pour tenir compte des pertes qui ont lieu les tiroirs, entre les fonds du cylindre et le piston, par les fuites le refroidissement; de sorte que la dépense réelle de vapeur est ı4 kilog. par heure.

alimentant avec de l'eau à 40°, 1 kilog. de houille produisant fa-ıent 6 kilog. de vapeur (328), on en brûlera $\frac{704}{6} = 117^k{,}33$ pour ıir la force de 25 chevaux; ce qui fait $4^k{,}70$ par force de cheval ır heure. Dans la pratique, cette consommation est ordinaire-t de 5 à 6 kilog. pour les petites machines, et de $4^k{,}50$ à 5 kilog. les grandes.

pposant que chaque mètre carré de surface de chauffe produise . de vapeur à l'heure (327), cette surface sera de $\frac{704}{25} = 28{,}16$ mè-carrés, ce qui fait $1^{mc}{,}13$ par force de cheval; souvent on ne l qu'un mètre carré par force de cheval, et quelquefois on va l'à $1^{mc}{,}40$.

surface refroidissante du cylindre est la plus petite possible, le même volume, quand la hauteur du cylindre est égale à son ètre (393). En enveloppant le cylindre d'un corps mauvais con-ur de la chaleur, on rendrait presque nul le refroidissement ex-ır. La chemise que l'on met au cylindre empêche la vapeur de ıdenser contre ses parois, chaque fois qu'il est mis en commu-on avec le condenseur. Le rapport de la longueur au diamètre

du cylindre, adopté par Watt et Boulton, a varié de 1,75 jusqu'à 3. mais la valeur la plus commune est 2,7.

La vitesse du piston varie de 0m,90 à 1m,10 par seconde; on va à 1m,30 pour les fortes machines de 70 chevaux. Le nombre de tours du volant varie de 20 à 28 par minute.

La condensation permet de marcher à de très-basses pressions; ainsi, dans les machines de Watt, avec chaudière en tombeau, la pression absolue de la vapeur dans la chaudière varie ordinairement de 1 atmosphère 1/4 à 1 atmosphère 1/3, et la pression dans le cylindre est quelquefois inférieure à 1 atmosphère, mais le plus souvent elle est 1 atmosphère. La pression absolue de la vapeur dans le cylindre étant 1 atmosphère, il convient de timbrer la chaudière à 1 atmosphère 1/4.

Le diamètre du tuyau qui conduit la vapeur de la chaudière aux tiroirs est le 1/5 au moins de celui du cylindre, d'où il résulte que la vitesse du piston est à celle de la vapeur dans ce tuyau comme 1 est à 25. La section de tous les passages et orifices de circulation de la vapeur est aussi égale au 1/25 de celle du piston. La valve régulatrice ne doit intercepter que les 0,25 de ce passage dans sa position normale. La largeur des lumières se prend environ égale à quatre ou cinq fois leur hauteur, et l'ouverture réellement démasquée par le tiroir ne peut pas être sensiblement moindre que 1/25 de la surface du piston.

Les passages et tuyaux de départ de vapeur doivent avoir des sections au moins égales à celles des orifices et tuyaux d'admission.

300. *Quantité d'eau nécessaire à la condensation de la vapeur. Capacité du condenseur et de la pompe à air. Pompe de puits.*

Le poids d'eau nécessaire pour condenser la vapeur dépensée est donné par la formule

$$Q(t'-t) = P(650-t'),$$

d'où l'on tire

$$Q = \frac{P(650-t')}{t'-t}.$$

Q poids d'eau nécessaire;
P poids de vapeur dépensé;
650 nombre d'unités de chaleur contenu dans un kilogramme de vapeur (268);
t température de l'eau avant la condensation;
t' température de l'eau après la condensation.

Supposant $P = 1$ kilog., $t = 10°$ et $t' = 50°$, on a

$$Q = \frac{650-50}{40} = 15 \text{ kilog.};$$

ce qui fait à peu près 15 litres.

BLEAU de la quantité d'eau, à différentes températures, nécessaire pour con-ser un kilogramme de vapeur, et de la pression dans le condenseur, en négli-nt la force élastique de l'air que laisse dégager l'eau, force élastique qui s'ajoute celle de la vapeur (294).

TEMPÉRATURE de l'eau avant la condensation.	TEMPÉRATURE de l'eau après la condensation.	PRESSION dans le condenseur (292).	VOLUME d'eau employé.
		atmosph.	litres.
10°	50°	$\frac{1}{8,6}$	15.00
Id.	40	$\frac{1}{14,3}$	20.33
Id.	30	$\frac{1}{25}$	31.00

'eau de rivière contient ordinairement 1/20 de son volume d'air; air se dégage dans le condenseur et produit une pression qui est raison inverse de la capacité du condenseur, et qui s'ajoute à la e élastique de la vapeur. Ainsi, en condensant à 50°, ce qui cor-pond à 1/8,6 atmosphère de pression, les 15 litres d'eau froide em-yés contiennent $\frac{15}{20} = 0^{l},75$ d'air à la pression atmosphérique; posant que la capacité que cet air occupe dans le condenseur soit $0,75 \times 8,6 = 6^{l},45$, sa force élastique devient égale, en négligeant fet de la dilatation, à 1/8,6 atmosphère, et cette force élastique s'a-tant à celle de la vapeur, qui est aussi 1/8,6 atmosphère, la pres-n dans le condenseur est $\frac{1}{8,6} + \frac{1}{8,6}$ atmosphère. Si la capacité oc-pée par l'air dans le condenseur était $6,45 \times 2$ litres, sa force élas-que ne serait plus que de $\frac{1}{8,6 \times 2}$, et la pression dans le condenseur ait réduite à $\frac{1}{8,6} + \frac{1}{8,6 \times 2}$ atmosphère. On voit donc que la pres-n dans le condenseur est d'autant plus petite que la capacité du ndenseur est plus grande. Pour des pompes à air à simple effet, nt la course était la moitié de celle du cylindre à vapeur, Watt fai-it le diamètre égal aux 2/3 de celui du cylindre à vapeur, d'où il ré-lte que le rapport entre le volume de la pompe à air et celui du cy-idre à vapeur était 2/9. Le volume du condenseur était égal à celui la pompe à air. Depuis, on s'est peu écarté de ces proportions, tant ur les machines sans détente, dont la pression dans la chaudière doit pas dépasser 1 atm. 1/4 à 1 atm. 1/3, que pour les machines à tente. Le rapport 2/9 oscille ordinairement entre 1/4 et 1/5. Si la

pompe à air était à double effet, son volume serait enc
du condenseur, et seulement le 1/8 de celui du cylindre
ces proportions, la pression derrière le piston à vapeu
grande, et le travail absorbé par le frottement du pist
à air, travail qui dépend du diamètre et de la course
ne dépasse pas une limite raisonnable.

La pression dans le condenseur et par suite derriè
volume d'eau et d'air à extraire du condenseur, et la
laquelle on est obligé d'élever l'eau de condensation,
choix de la température à laquelle il convient de cond
profondeurs de puits de 8 à 10 mètres, il convient de
ou 40°; pour des puits plus profonds, on condense à
50°, et on ne doit plus condenser dès que la profond
teint 30 ou 40 mètres.

La profondeur de puits à laquelle on peut se passer
vatoire est au maximum de 6 mètres ou 6m,50; au delà
malgré le grand diamètre qu'il convient toujours de d
d'aspiration, l'eau n'arrive plus dans le condenseur a
suffisante.

Pour la machine de 25 chevaux (398), en condensan
l'eau froide à 10°, la quantité d'eau froide nécessaire à l
des 704 kilog. de vapeur dépensés par heure est de

$$704 \times \frac{650-40}{40-10} = 14312 \text{ kilog.};$$

ce qui fait 573 kilog. par force de cheval.

Cette quantité est un minimum que l'on ne peut att
pratique; l'expérience prouve que la pompe de pui
1000 kil. d'eau par force de cheval et par heure, c'est-à
pour une machine de 25 chevaux. Quand la machine
1/5 de cette eau reste disponible.

400. *Volant.* Il se calcule avec la même formule et le
ficients que pour les machines sans détente ni condens

MACHINES A VAPEUR A DÉTENTE SANS CONDENSATI

401. *Effet d'une machine à vapeur à détente sans*
L'effet théorique $\mathcal{T}''_m$ produit dans une telle machine,
dépensée en seconde, est, en supposant nulle la pressi
piston (391),

$$\mathcal{T}''_m = Vh + Vh \log\left(\frac{z}{z_0}\right) \times 2{,}3026.$$

it la pression derrière le piston, ce travail devient (390)

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}'_m - V\frac{z}{z_0}h' = Vh + Vh\log\left(\frac{z}{z_0}\right) \times 2{,}3026 - V\frac{z}{z_0}h'$$

$$\mathcal{T}_m = Vh\left[1 + \log\left(\frac{z}{z_0}\right) \times 2{,}3026 - \frac{h'}{h} \times \frac{z}{z_0}\right].$$

volume de vapeur non détendue, dépensé par seconde;

volume engendré par le piston en une seconde;

travail absorbé par h' en une seconde.

$10^m{,}333$ théoriquement; mais, dans la pratique, à cause de la ance de la vapeur dans les tuyaux d'échappement et de la vi- avec laquelle elle se dégage, h' augmente de 1/12 à 1/10 d'atmo- quand la vitesse du piston s'écarte peu de 1 mètre par seconde le diamètre du tuyau d'échappement varie de 1/7 à 1/8 de celui ton.

r avoir le travail pratique $\mathcal{T}_m$ dont on peut disposer sur l'arbre ant, il faut encore affecter la valeur de $\mathcal{T}'_m$ d'un coefficient k pend des différentes résistances passives de la machine; ainsi,

$$\mathcal{T}_m = Vhk\left[1 + \log\left(\frac{z}{z_0}\right) \times 2{,}3026 - \frac{h'}{h} \times \frac{z}{z_0}\right]. \qquad (a)$$

TABLEAU des valeurs moyennes du coefficient **k**.

FORCE DE LA MACHINE.	VALEUR DE *k*.
De 4 à 8 chevaux.	0.45
De 10 à 20 *id.*	0.58
De 30 à 50 *id.*	0.70
De 60 à 100 *id.*	0.84

2. *Calcul des dimensions d'une machine à vapeur à détente sans nsation.*

rce de la machine, 12 chevaux. Pression absolue de la vapeur le cylindre avant la détente, 5 atmosphères. Détente au 1/3.

a $$k = 0{,}58, \quad h = 10{,}333 \times 5 = 51^m{,}67,$$

$$= 10{,}333 + \frac{10{,}333}{10} = 11{,}367, \quad \frac{z}{z_0} = 3 \quad \text{et} \quad \log\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0{,}477.$$

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule (a) du numéro précédent, il vient

$$0,075 \times 12 = V \times 51,67 \times 0,58 \left(1 + 0,477 \times 2,3026 - \frac{11,367}{51,67} \times 3\right);$$

d'où l'on tire V = 0,021 de mètre cube.

Le volume de vapeur après la détente est alors $0^m,021 \times 3 = 0^m$...

Supposant la vitesse du piston égale à $0^m,90$ par seconde, on a, représentant par d le diamètre du piston,

$$\frac{\pi d^2}{4} \times 0^m,90 = 0,063, \quad \text{d'où} \quad d = 0^m,298.$$

A 5 atmosphères, la densité de la vapeur étant 0,00257363..., le poids de vapeur dépensé en une heure est donc 2,57363×... 3600 = $194^k,57$.

On augmente encore cette dépense de 1/10 pour tenir compte des pertes de vapeur qui ont lieu dans les tiroirs, entre les fonds du cylindre et le piston, et par le refroidissement; de sorte que pour une machine de 12 chevaux, la dépense de vapeur est $194,57 + \frac{194,57}{10} = 214$ kil.; ce qui fait 17,83 kilog. par force de cheval et par heure.

Supposant qu'un kilog. de houille produit 6 kilog. de vapeur, comme cela a lieu facilement, surtout quand on chauffe l'eau d'alimentation à 70 ou 80° au moyen de la vapeur qui se dégage, on brûlera $\frac{214}{6} = 36$ kilog. environ, ce qui fait 3 kilog. par force de cheval et par heure. Dans la pratique, pour des forces inférieures à 20 chevaux, la pression absolue de la vapeur dans la chaudière variant de 4 à 5 atmosphères, et la détente étant au 1/3, il faut compter sur $3^k,5$ à 4 kilog. de houille et quelquefois plus, par force de cheval et par heure; cette consommation est moindre pour des machines plus puissantes.

Chaque mètre carré de la surface de chauffe produisant 20 kilog. de vapeur à l'heure (327), cette surface sera, pour une machine de 12 chevaux, $\frac{214}{20} = 10^{mc},7$, ce qui fait $\frac{10,7}{12} = 0^{mc},89$ environ par force de cheval; dans la pratique, on compte ordinairement sur 1^{mc} à $1^{mc},30$ par force de cheval (327 et 336).

Ordinairement, la pression absolue de la vapeur dans la chaudière varie de 4 à 5 atmosphères; lorsqu'elle est de 4 atmosphères, la détente est au 1/2, et lorsqu'elle est de 5 atmosphères, la détente au 1/3. M. Cavé a porté la pression dans la chaudière jusqu'à 7 atmosphères pour des machines de bateau; en Amérique, cette pression varie de 9 à 11 atmosphères et l'on détend au 1/3.

a des machines à détente fixe et des machines à détente variable.
cylindres de ces machines n'ont pas d'enveloppe.
vitesse du piston varie ordinairement entre 1 mètre et 1^m,50 ;
es machines rapides puissantes destinées à faire mouvoir direc-
it les forges ou les hélices de bateaux, cette vitesse varie de 1^m,50
ètres; on l'a même portée à 2^m,50 dans une même machine de
evaux construite au Creusot. Dans une machine de 10 chevaux
stème Flaud, la course du piston est 0^m,25 et le nombre de coups
es est de 250 par minute, ce qui correspond à une vitesse de
par seconde.
section des lumières d'entrée est le 1/17 environ de celle du
), et celle des lumières de sortie, le 1/11.
i. *Volant.* Le volant se calcule à l'aide de la formule du n° 395,
laquelle faisant K = 32, le coefficient numérique 1645 prend les
r du tableau suivant :

MACHINE.	PRESSION.	DÉTENTE AU	K.
lancier à un seul cylindre, la elle étant égale à 5 fois la manivelle.	5 atmosph.	$\frac{1}{2}$	7080
		$\frac{1}{3}$	8186
		$\frac{1}{4}$	9248
		$\frac{1}{5}$	10281
	6 atmosph.	$\frac{1}{2}$	6975
		$\frac{1}{3}$	7949
		$\frac{1}{4}$	8914
		$\frac{1}{5}$	9695
		$\frac{1}{6}$	10651
bielle infinie.	5 atmosph.	$\frac{1}{3}$	7064
s balancier, bielle = 5 maniv.	6 atmosph.	$\frac{1}{4}$	8598
lindre oscil. de M. Cavé, *id.*	6 atmosph.	$\frac{1}{2}$	7292

MACHINES A VAPEUR A DÉTENTE ET CONDENSATION.

04. *Machines à deux cylindres, dites machines de Woolf.* Il y a
machines à détente et condensation qui n'ont qu'un cylindre à
eur, et d'autres qui en ont deux. Dans ces dernières, qui sont les
hines de Woolf, la vapeur agit simultanément à pleine pression
le petit piston, et par détente sur le grand piston et derrière le

petit. En supposant un vide parfait derrière le grand piston, l'effort théorique exercé par les pistons sur le balancier, à un instant quelconque de leur course, est

$$P = sh + (S - s)\frac{hc}{c + d(S - s)}.$$

P effort théorique exercé par les tiges des pistons sur le balancier en unités de 1000 kilogrammes;
s surface du petit piston en mètres carrés;
h pression exercée par la vapeur non dilatée, sur le petit piston, en mètres de hauteur d'eau;
S surface du grand piston en mètres carrés;
c capacité du petit cylindre moins le volume du piston, en mètres cubes;
d distance des pistons aux extrémités des cylindres qu'ils viennent de quitter, en mètres.

Le premier terme sh de la valeur de P est la pression transmise par la vapeur non dilatée. Le volume de la vapeur non dilatée étant c, et le volume qu'elle occupe quand les pistons ont parcouru l'espace d étant $c + d(S - s)$, sa force élastique est $\frac{hc}{c + d(S - s)}$ (391), et la pression qu'elle transmet au balancier, $(S - s)\frac{hc}{c + d(S - s)}$.

Supposant, dans la formule précédente, que l'on a $S = 5s$, ce qui revient à une machine à un cylindre dont la détente est au 1/5, on trouve, pour une valeur quelconque de h, que les valeurs relatives de P, au commencement, au milieu et à la fin de la course des pistons, sont respectivement 20, 9,33 et 7,2. Ainsi, du commencement à la fin de la course des pistons, les efforts sur le balancier varient dans le rapport de 20 à 7,2 ou de 2,78 à 1; au lieu que dans une machine à un seul cylindre, détendant au 1/5, ces efforts varient dans le rapport de 5 à 1.

Dans les machines à un cylindre, le changement d'effort de la vapeur sur le balancier étant plus brusque que dans celles à deux cylindres, il a moins d'influence sur la marche du volant, dont le poids n'a pas besoin d'être beaucoup plus fort pour une machine à deux cylindres de même force; de sorte que, par un petit excès de poids donné au volant, on obtient une marche aussi régulière avec un machine à un cylindre qu'avec une machine à deux, on supprime un cylindre, et l'on simplifie les tiroirs et tout le mécanisme, tout en augmentant l'effet de la vapeur.

408. *Effet d'une machine à vapeur à détente et condensation.* Que la machine soit à un ou à deux cylindres, l'expression du travail moteur dont on peut disposer sur l'arbre du volant est la même que pour les machines à détente sans condensation (401); ainsi, on a

$$\mathcal{T}_m = Vhk\left[1 + \log\left(\frac{z}{z_o}\right) \times 2{,}3026 - \frac{h'}{h} \times \frac{z}{z_o}\right].$$

Les mêmes lettres ont les mêmes significations qu'aux nos 391 et 401.

rime, pour une machine à deux cylindres, le rapport de la capacité du grand cylindre à celle du petit.

qui est la pression derrière le piston pour une machine à un dre, et derrière le grand piston pour une machine à deux cylin- varie de 1/7 à 1/9 d'atmosphère pour une température de 40° dans idenseur, une vitesse de piston de 1 mètre par seconde et une très- le section pour le tuyau allant du cylindre au condenseur (398).

TABLEAU des valeurs du coefficient k pour une machine à un cylindre.

FORCE DE LA MACHINE.	VALEUR DE k.
De 4 à 8 chevaux.	0.44
De 10 à 20 *id.*	0.52
De 30 à 50 *id.*	0.63
De 60 à 100 *id.*	0.74

ur une machine à deux cylindres, il conviendrait de diminuer lleurs précédentes de k de leur dixième environ.

ur les petites machines à deux cylindres, la détente est ordinai- ent au 1/4, et pour les grandes elle est au 1/5.

ur les machines à un cylindre, il n'y a pas de règle pour fixer la ite; ordinairement elle est au 1/5, et dans les épuisements, les ines qui commandent les pompes sans mouvement de rotation ndent quelquefois au 1/8. Les machines à détente et condensation à moyenne ou à haute pression (389); mais les machines à basse sion peuvent aussi être à détente; c'est ce qui a lieu sur beaucoup ateaux à vapeur.

ns ces derniers temps, pour des machines très-bien établies et tenues, on a porté la détente jusqu'à 1/15 et même plus; cela est ut avantageux quand les machines produisent momentanément ravail très-faible relativement à leur travail normal. Pour ces li- s, dans les machines à deux cylindres, la détente commence dans tit cylindre.

6. *Calcul des dimensions d'une machine à détente et condensation seul cylindre.*

rce de la machine 40 chevaux, d'où $k = 0{,}63$; $h = 3$ atm. $= 31^m{,}00$ $' = 1/8$ d'atm. $= 1^m{,}292$; détente au cinquième, ce qui donne $= 5$ et $\log\left(\frac{z}{z_o}\right) = 0{,}698\,97$.

emplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule

$$T_m = Vhk\left[1 + \log\left(\frac{z}{z_0}\right) \times 2{,}3026 - \frac{h'}{h} \times \frac{z}{z_0}\right],$$

ou

$$0{,}075 \times 40 = V \times 31 \times 0{,}63 \left(1 + 0{,}69897 \times 2{,}3026 - \frac{1{,}292}{31} \times 5\right);$$

d'où l'on tire $V = 0^{mc},064.$

V' étant le volume de vapeur après la détente, c'est-à-dire le volume total engendré par le piston, on a

$$V' = 0^{mc},064 \times 5 = 0^{mc},32.$$

Supposant la vitesse du piston égale à $1^m,30$ par seconde, on a

$$\frac{\pi d^2}{4} \times 1^m,30 = 0^{mc},32;$$

d'où l'on tire le diamètre du piston $d = 0^m,56$.

Pour une machine à deux cylindres, on opérerait de la même manière ; seulement, dans l'équation précédente, $\frac{\pi d^2}{4} \times 1^m,30$ serait remplacé par la nouvelle expression du volume de vapeur détendue dépensé par seconde, et dans la formule (a), on remplacerait $\frac{z}{z_0}$ par le rapport du volume de la vapeur détendue à celui de la vapeur à pleine pression. Quand la vapeur ne se détend que dans le grand cylindre, ce rapport est celui des capacités des cylindres; si l'admission de la vapeur cesse et que la détente commence dans le petit cylindre aux 2/3 de la course du piston, ce rapport est celui de la capacité du grand cylindre aux 2/3 de la capacité du petit cylindre.

On est assez dans l'usage de placer les axes des cylindres dans le plan du mouvement du balancier, les distances horizontales des axes du petit et du grand cylindre à l'axe de rotation du balancier étant dans le rapport de 3 à 4. Le tableau suivant a été dressé par M. Morin, d'après cette disposition.

VITESSE		COURSE		DIAMÈTRES CORRESPONDANTS aux pressions dans la chaudière de						NOMBRE de tours de volant par 1'.
				4.5 atm.		4 atm.		3.5 atm.		
du grand piston.	du petit piston.	du grand piston.	du petit piston.	grand cylind.	petit cylind.	grand cylind.	petit cylind.	grand cylind	petit cylind.	
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	
0.90	0.675	0.90	0.675	0.282	0.140	0.268	0.158	0.196	0.174	30.0
id.	id.	id.	id.	0.342	0.177	0.350	0.192	0.358	0.214	id.
1.00	0.750	1.00	0.750	0.374	0.192	0.382	0.209	0.389	0.229	id.
id.	id.	id.	id.	0.414	0.214	0.423	0.232	0.432	0.254	id.
id.	id.	1.10	0.825	0.448	0.237	0.458	0.254	0.469	0.276	27.3
id.	id.	id.	id.	0.480	0.248	0.491	0.269	0.502	0.295	id.
id.	id.	1.20	0.90	0.509	0.263	0.520	0.285	0.531	0.313	27.5
1.10	0.825	id.	id.	0.513	0.265	0.521	0.286	0.535	0.314	id.
id.	id.	1.30	0.975	0.534	0.276	0.545	0.299	0.538	0.328	25.4
id.	id.	id.	id.	0.555	0.287	0.567	0.311	0.584	0.342	id.
id.	id.	id.	id.	0.575	0.297	0.587	0.322	0.601	0.354	id.
1.15	0.865	1.45	1.09	0.580	0.300	0.593	0.325	0.607	0.357	25.8
id.	id.	id.	id.	0.599	0.309	0.611	0.335	0.625	0.368	id.
id.	id.	1.60	1.20	0.615	0.318	0.630	0.345	0.642	0.378	21.6
id.	id.	id.	id.	0.664	0.347	0.674	0.369	0.688	0.405	id.
1.25	0.938	1.70	1.275	0.658	0.340	0.673	0.368	0.686	0.404	22.1
id.	id.	id.	id.	0.696	0.360	0.711	0.390	0.727	0.428	id.
id.	id.	1.80	1.35	0.735	0.380	0.750	0.411	0.769	0.452	20.8
id.	id.	id.	id.	0.805	0.416	0.821	0.450	0.840	0.494	id.
1.30	0.975	2.00	1.50	0.850	0.440	0.870	0.477	0.890	0.524	19.5
id.	id.	id.	id.	0.910	0.470	0.930	0.510	0.953	0.560	id.
id.	id.	2.10	1.575	0.969	0.500	0.987	0.541	1.010	0.594	18 6
id.	id.	id.	id.	1.032	0.526	1.040	0.570	1.065	0.626	id.
id.	id.	id.	id.	1.070	0.552	1.090	0.598	1.113	0.656	id.
id.	id.	id.	id.	1.115	0.577	1.140	0.624	1.163	0.685	id.
id.	id.	id.	id.	1.160	0.600	1.185	0.650	1.210	0.713	id.

ans l'application précédente, le volume de vapeur, à la pression h, ensé par heure est

$$0^{mc},064 \times 3600 = 230,40 \text{ mètres cubes.}$$

a densité de la vapeur à 3 atmosphères étant 0,001 614 53 (292), le ds de vapeur dépensé par heure est

$$1,614\,53 \times 230,40 = 372 \text{ kilog.}$$

ugmentant cette dépense de 1/8 pour compenser les pertes et le oidissement, elle devient 418 kilog. Pour des petites machines, la tion 1/8 serait un peu faible.

In kilogramme de houille produisant 6 kilog. de vapeur, on en lera, pour obtenir la force de 40 chevaux, $\frac{418}{6} = 69,7$ kilog., c'est-ire $1^k,74$ par force de cheval et par heure. Dans la pratique, il faut

compter sur $2^k,5$ à 3 kilog. pour les machines à un cylindre en bonne marche, et sur $3^k,0$ à $3^k,5$ pour les machines à deux cylindres. En soignant très-bien les machines, ces consommations peuvent encore diminuer sensiblement. Dans le Cornouailles, on est arrivé, pour des machines d'épuisement communiquant le mouvement aux pompes sans arbre de rotation, à ne brûler qu'un kilog. de houille par force de cheval et par heure (page 242).

M. Farcot a établi des machines à longue détente qui n'ont consommé que $1^k,30$ par force de cheval. Ce résultat a été aussi obtenu par MM. Le Gavriant et Farinaux (de Lille), pour des machines de Woolf, mais à cylindres séparés. Une machine horizontale à haute pression de MM. Thomas et Laurens, détendant au 1/15 environ de la course du piston, qui commande directement l'arbre de l'usine, a donné des résultats analogues aux précédentes. La vapeur, avant d'agir sur le piston, enveloppe le cylindre latéralement et sur les fonds ; le piston a $0^m,60$ de diamètre, $1^m,20$ de course, et il donne 35 coups doubles par minute ; cette grande vitesse a permis de ne donner qu'un poids modéré au volant.

En supposant que chaque mètre carré de surface de chauffe produise seulement 20 kilog. de vapeur à l'heure, pour la force de 40 chevaux, cette surface sera de $\frac{418}{20} = 20^{mc},90$; ce qui fait $0^{mc},52$ par force de cheval. Il ne convient guère, dans la pratique, de prendre moins de 0^{mc},[illegible] de surface de chauffe par force de cheval, surtout pour les machines faibles, et souvent même on dépasse 1 mètre carré.

Le volume de la pompe à air est le même que pour les machines sans détente (399), c'est-à-dire le 1/4 environ de celui du cylindre à vapeur quand elle est à simple effet. Le volume du condenseur est aussi égal à celui de la pompe à air. L'expérience prouve que la pompe à eau froide doit élever de 500 à 600 litres d'eau par force de cheval et par heure.

La section des lumières d'admission varie de 1/20 à 1/30 de celle du piston, et celle des lumières de départ varie de 1/15 à 1/20. La section du tuyau d'échappement varie de 1/14 à 1/15 de celle du piston.

407. *Volant.* Admettant le coefficient de régularité $K = 32$ de Watt, le poids du volant des machines à détente et condensation se calcule à l'aide de la formule du n° 395, dans laquelle le coefficient numérique 4645 prendra les valeurs du tableau suivant.

DÉSIGNATION DES MACHINES.		PRESSION en atm.	DÉTENTE.	COEFFICIENT.
s seul cylindre et à balancier.		5	$\frac{1}{3}$	7204
			$\frac{1}{4}$	7649
			$\frac{1}{5}$	7843
			$\frac{1}{6}$	8404
			$\frac{1}{7}$	8315
			$\frac{1}{8}$	8449
n seul cylindre sans balancier.		5	$\frac{1}{3}$	6666
seul cylindre, s balancier, ille égale à 5 s la manivelle.	Manivelle simple. . . .	5	$\frac{1}{3}$	7649
	Id. double à angle droit.			4849
	Id. triple à angles égaux.			657
cylindres, à lancier, bielle le à 5 fois la nivelle. . . .	Détente dans le grand cylindre seulement. .	4.5	$\frac{1}{4.5}$	5538
	Détente commençant aux 2/3 de la course du petit piston.		$\frac{1}{7.5}$	6034
llante de M. Cavé.		5	$\frac{1}{3}$	7442

diamètre moyen du volant varie de 3,5 à 4 fois la course des ns pour les machines à deux cylindres, et de 4 à 4,5 fois pour les hines à un seul cylindre, à haute pression, avec ou sans détente, balancier.

408. *TABLEAU des proportions convenables à donner aux parties principales des machi[nes à] vapeur, d'après M. Jullien* (Traité des machines à vapeur). *Comme la force des machi[nes dé]pend de la vitesse, qui est très-variable aujourd'hui, ainsi que de la pression de la vapeur [et de] la détente, il n'est guère possible de dresser un tableau de cette force, que l'on détermine[ra dans] chaque cas d'après les formules posées précédemment. Les machines sont simplement d[ésignées] suivant un numéro d'ordre.*

Numéros d'ordre.	DIAMÈTRES DES CYLINDRES à vapeur — sans détente — sans condens.	sans détente — à condens.	à détente — sans condens.	à détente — à condens.	Épaisseur des cylindres.	Course des pistons.	Diamètres des tiges des pistons à vapeur.	BALANCIER À UNE SEULE FL[ASQUE] — Longueurs.	Hauteurs.	Épaisseurs.	Diam. des tou[rillons] en fer — des extr.	à [illegible]
	m	m	m	m	mill.	m	mill.	m	m	mill.	mill.	mill.
1	0.025	0.05	0.035	0.04	8	0.10	12	0.30	0.05	4	12	18
2	0.050	0.10	0.070	0.08	10	0.20	15	0.60	0.10	6	20	30
3	0.075	0.15	0.105	0.12	12	0.30	18	0.90	0.15	9	25	35
4	0.100	0.20	0.140	0.16	14	0.40	21	1.20	0.20	13	30	45
5	0.125	0.25	0.175	0.20	16	0.50	25	1.50	0.25	15	35	50
6	0.150	0.30	0.210	0.24	18	0.60	30	1.80	0.30	18	40	56
7	0.175	0.35	0.245	0.28	20	0.70	35	2.10	0.35	23	45	65
8	0.200	0.40	0.280	0.32	22	0.80	40	2.40	0.40	25	50	70
9	0.225	0.45	0.315	0.36	24	0.90	45	2.70	0.45	28	55	75
10	0.250	0.50	0.350	0.40	26	1.00	50	3.00	0.50	30	60	[illegible]
11	0.275	0.55	0.385	0.44	28	1.10	55	3.30	0.55	33	60	85
12	0.300	0.60	0.420	0.48	30	1.20	60	3.60	0.60	35	65	90
13	0.325	0.65	0.455	0.52	32	1.30	65	3.90	0.65	38	70	95
14	0.350	0.70	0.490	0.56	34	1.40	70	4.20	0.70	40	75	100
15	0.375	0.75	0.525	0.60	36	1.50	75	4.50	0.75	43	75	110
16	0.400	0.80	0.560	0.64	38	1.60	80	4.80	0.80	45	80	120
17	0.425	0.85	0.595	0.68	40	1.70	85	5.10	0.85	48	85	120
18	0.450	0.90	0.630	0.72	42	1.80	90	5.40	0.90	50	90	130
19	0.475	0.95	0.665	0.76	44	1.90	95	5.70	0.95	55	95	130
20	0.500	1.00	0.700	0.80	46	2.00	100	6.00	1.00	60	100	140
21	0.550	1.10	0.770	0.88	48	2.20	110	6.60	1.05	65	110	150
22	0.600	1.20	0.840	0.96	50	2.40	120	7.20	1.10	70	120	160
23	0.650	1.30	0.910	1.04	52	2.60	130	7.80	1.15	75	130	[illegible]
24	0.700	1.40	0.980	1.12	54	2.80	140	8.40	1.20	80	140	200
25	0.750	1.50	1.050	1.20	56	3.00	150	9.00	1.25	85	150	220
26	0.800	1.60	1.120	1.28	58	3.20	160	9.60	1.30	90	160	220
27	0.850	1.70	1.190	1.36	60	3.40	170	10.20	1.35	95	170	240
28	0.900	1.80	1.260	1.44	62	3.60	180	10.80	1.40	100	180	240
29	0.950	1.90	1.330	1.52	64	3.80	190	11.40	1.45	110	190	260
30	1.000	2.00	1.400	1.60	66	4.00	200	12.00	1.50	120	200	260

Suite du tableau précédent.

	DIAMÈTRE DES BOUTONS EN FER de manivelle.	VOLANTS. Diamètres.	Poids des jantes sans détente.	Poids des jantes à détente sans condens.	Poids des jantes à détente avec condens.	LUMIÈRES DES TIROIRS sans détente ni condensation long.	sans détente ni condensation larg.	sans détente à condensation long.	sans détente à condensation larg.	à détente long.	à détente larg.	Diamètre des tiges des tiroirs.
	mill.	m	k	k	k	m	m	m	m	m	m	mill.
25	15	0.30	31	55	46	0.0125	0.0025	0.025	0.005	0.0188	0.0038	5
50	25	0.60	73	128	109	0.0250	0.0050	0.050	0.010	0.[illegible]375	0.0075	6
75	35	0.90	126	220	188	0.0375	0.0075	0.075	0.015	0.0628	0.0113	6
00	40	1.20	198	347	295	0.0500	0.0100	0.100	0.020	0.0750	0.0150	8
25	45	1.50	292	540	435	0.0625	0.0125	0.125	0.025	0.0938	0.0188	8
50	50	1.80	397	695	592	0.0750	0.0150	0.150	0.030	0.1125	0.0225	10
73	55	2.10	528	926	785	0.0875	0.0175	0.175	0.035	0.1313	0.0263	10
00	65	2.40	688	1 200	1 022	0.1000	0.0200	0.200	0.040	0.1500	0.0300	12
25	70	2.70	890	1 560	1 327	0.1125	0.0225	0.225	0.045	0.1688	0.0338	12
50	75	3.00	1 155	2 030	1 720	0.1250	0.0250	0.250	0.050	0.1875	0.0375	15
.75	80	3.30	1 390	2 440	2 075	0.1375	0.0275	0.275	0.055	0.2068	0.0413	15
.00	85	3.60	1 660	2 940	2 470	0.1500	0.0300	0.300	0.060	0.2250	0.0450	18
.25	90	3.90	1 970	3 450	2 940	0.1625	0.0325	0.325	0.065	0.2438	0.0488	18
.50	95	4.20	2340	4 100	3 480	0.1750	0.0350	0.350	0.070	0.2625	0.0525	21
.75	95	4.50	2750	4 820	4 100	0.1875	0.0375	0.375	0.075	0.2813	0.0563	21
.00	100	4.80	3250	5 700	4 850	0.2000	0.0400	0.400	0.080	0.3000	0.0600	25
.25	110	5.10	3820	6 700	5 700	0.2125	0.0425	0.425	0.085	0.3133	0.0638	25
.50	110	5.40	4500	7 900	6 700	0.2250	0.0450	0.450	0.090	0.3365	0.0675	30
.75	120	5.70	5300	9 360	7 900	0.2375	0.0475	0.475	0.095	0.3563	0.0713	30
.00	130	6.00	6280	11 000	9 360	0.2500	0.0500	0.500	0.100	0.3750	0.0750	35
.50	140	6.60	7750	13 600	11 550	0.2750	0.0550	0.550	0.110	0.4125	0.0825	35
.00	150	7.20	9600	16 850	14 300	0.3000	0.0600	0.600	0.120	0.4500	0.0900	35
.50	160	7.80	11 800	20 650	17 600	0.3250	0.0650	0.650	0.130	0.4875	0.0975	40
.00	180	8.40	14 650	25 750	21 900	0.3500	0.0700	0.700	0.140	0.5250	0.1050	40
.50	190	9.00	18 200	32 000	27 150	0.3750	0.0750	0.750	0.150	0.5625	0.1125	40
.00	200	9.60	22 500	39 500	33 500	0.4000	0.0800	0.800	0.160	0.6000	0.1200	45
.50	220	10.20	28 200	49 500	42 000	0.4250	0.0850	0.850	0.170	0.6375	0.1275	45
.00	220	10.80	35 500	62 100	53 000	0.4500	0.0900	0.900	0.180	0.6750	0.1350	45
.50	240	11.40	45 400	79 000	67 200	0.4750	0.0950	0.950	0.190	0.7125	0.1425	50
.00	240	12.00	58 500	102 500	87 200	0.5000	0.1000	1.000	0.200	0.7500	0.1500	50

Suite du tableau précédent.

Numéros d'ordre.	DIAMÈTRES DES SOUPAPES et tuyaux de conduite			DIAMÈTRES				DIAMÈTRES des pompes pour 1
	sans détente ni condens.	sans détente à condens.	à détente.	théoriques des pompes à air, sans détente.	théoriques des pompes à air, à détente.	des robinets et tuyaux d'injection	des tiges de pompes à air.	eau fraîche à condensation.
	m	m	m	m	m	mill.	mill.	mill.
1	0.005	0.01	0.0075	0.03	0.025	5	9	25
2	0.010	0.02	0.0150	0.06	0.050	10	10	30
3	0.015	0.03	0.0225	0.09	0.075	15	12	35
4	0.020	0.04	0.0300	0.12	0.100	21	15	40
5	0.025	0.05	0.0375	0.15	0.125	25	18	60
6	0.030	0.06	0.0450	0.18	0.150	30	21	70
7	0.035	0.07	0.0525	0.21	0.175	35	21	80
8	0.040	0.08	0.0600	0.24	0.200	40	25	90
9	0.045	0.09	0.0675	0.27	0.225	45	25	100
10	0.050	0.10	0·0750	0.30	0.250	50	30	120
11	0.055	0.11	0.0825	0.33	0.275	55	30	140
12	0.060	0.12	0.0900	0.36	0.300	60	35	160
13	0.065	0.13	0.0975	0.39	0.325	65	35	180
14	0.070	0.14	0.1050	0.42	0.350	70	40	200
15	0.075	0.15	0.1125	0.45	0.375	75	40	220
16	0.080	0.16	0.1200	0.48	0.400	80	45	240
17	0.085	0.17	0.1275	0.51	0.425	85	45	260
18	0.090	0.18	0.1350	0.54	0.450	90	50	280
19	0.095	0.19	0.1425	0.57	0.475	95	50	300
20	0.100	0.20	0.1500	0.60	0.500	100	55	325
21	0.110	0.22	0.1650	0.66	0.550	110	55	350
22	0.120	0.24	0.1800	0.72	0.600	110	60	375
23	0.130	0.26	0.1950	0.78	0.650	120	65	400
24	0.140	0.28	0.2100	0.84	0.700	120	70	450
25	0.150	0.30	0.2250	0.90	0.750	130	75	500
26	0.160	0.32	0.2400	0.96	0.800	130	80	550
27	0.170	0.34	0.2550	1.02	0.850	140	85	600
28	0.180	0.36	0.2700	1.08	0.900	140	90	650
29	0.190	0.38	0.2850	1.14	0.950	140	95	700
30	0.200	0.40	0.3000	1.20	1.000	150	100	750

9. *Emploi des vapeurs autres que la vapeur d'eau, comme force* *ice.* Connaissant la température d'ébullition d'une substance et 301), sa chaleur spécifique (286), sa chaleur latente de vaporin (288), et la densité de sa vapeur (45), on peut déterminer la tité de chaleur absorbée pour former un volume donné de va-, et par suite connaître, sous le rapport du combustible brûlé, ntage qu'offrirait l'emploi de sa vapeur comme force motrice (390).

ABLEAU de quelques substances dont les vapeurs sont susceptibles d'être employées comme force motrice.

DÉSIGNATION des substances.	TEMPÉRATURE d'ébullition	DENSITÉ de la substance.	CHALEUR spécifique.	DENSITÉ de la vapeur.	CHALEUR latente.
. . . .	100°0	1.000	1.000	0.624	536.5
ol.	78.4	0.792	0.622	1.613	207.0
r sulfurique.	37.8	0.7155	0.520	2.586	96.8
nce de térébenthine. .	157.0	0.8697	0.472	5.013	76.8
e de naphte.	85.5	0.85	»	2.85	81.0
ure de carbone.	47.0	1.263	»	2.645	»
noniaque.	à 10°, pression 6,5 atmosph.			0.597	»
le carbonique.	à 0°, id. 36 id. à —11°, id. 26 id.			1.524	très-grande.

squ'à présent, on n'a employé avec succès que la vapeur d'eau. ndant, les essais récents de M. Ericson pour construire des maies à air chaud, et surtout ceux de M. du Tremblay pour établir des hines binaires dans lesquelles la vapeur d'eau, après son effet sur piston, est utilisée pour vaporiser un autre liquide dont la vapeur sur un second piston, paraissent avoir donné quelques résultats. apeur d'eau, après son action sur le piston, passe dans un conden-r de Hall, formé d'une capacité fermée, traversée par une série de nbreux tubes contenant le second liquide à vaporiser. Ce liquide bouillir à une température aussi faible que possible, et inférieure °; il ne doit pas se décomposer au-dessous de 110 à 120°, ni atta-r les métaux dont la machine est composée, ni donner lieu à des anges inflammables ou explosibles. Le chloroforme, appliqué par afond, et le chlorure de carbone, employé pour la première fois ondres par M. du Tremblay, satisfont à toutes ces conditions; l'é-r sulfurique leur est encore préférable; mais comme il ne satispas à la dernière condition, on ne doit lui donner la préférence quand on peut aérer ou isoler les machines. Pour une machine

de 25 chevaux, travaillant 12 heures par jour, pendant 18 mois, la part de chlorure de carbone paraît n'avoir été que de 3/4 de litre par jour. Ce liquide ne coûte que 2f,50 le litre ; les autres sont également d'un prix minime.

Il est question en ce moment d'une machine à air dans laquelle 90 parties d'air seraient chauffées par 10 parties de gaz d'éclairage qui y seraient introduites. Une étincelle électrique enflammerait le gaz et la chaleur produite donnerait un mélange à une haute température et à une forte pression, et qui agirait sur le piston par détente.

410. *Notions sur le prix des machines à vapeur.* A Paris, les machines que l'on construit le plus sont à haute pression, à détente sans condensation ; leur prix, pour des forces qui ne dépassent pas 20 chevaux, était, il y a quelques années, de 1000 fr. par cheval, plus 3000 ou 4000 fr. par machine ; de sorte que n étant la force de la machine en chevaux, son prix était de $1000\,(n+3)$ fr. ou $1000\,(n+4)$ fr.

Dans ce prix se trouvaient compris la chaudière, mais non celle de rechange, et un bout de tuyau de 5 mètres de longueur. Le mécanicien ne fournissait que le monteur pour la pose de la machine ; tous les autres frais de montage étaient à la charge du propriétaire.

Au-dessus de la force de 20 chevaux, il n'y avait pas de prix courant.

Il n'y a guère de prix déterminés pour les machines à condensation ; elles sont plus chères que les autres, quoique, à force égale de machine, la chaudière soit moins coûteuse.

Le prix des machines à deux cylindres variait, il y a quelques années, de 1800 à 2000 fr. par cheval ; aujourd'hui, il est compris entre 1200 et 1400 fr. par cheval.

Prix d'achat et de pose d'une machine à vapeur de la force de 20 chevaux, à deux cylindres et à condensation, et de tous ses accessoires.

Achat de la machine et de sa chaudière.	25000 fr.
Transport, faux frais et pose.	1 300
Fourneau et cheminée de 25 mètres de hauteur, en briques.	5 000
Chambre de la machine. Fondation. Puits.	6 000 en moyenne
Achat d'une deuxième chaudière et des accessoires (portes, grilles, armatures...) du fourneau.	1 000
Construction du fourneau de la deuxième chaudière. .	1 500
Total.	42500 fr.

Si la machine était à un cylindre, la dépense diminuerait de 2500 fr. environ.

TABLEAU des valeurs actuelles des machines à balancier mises en place, avec leur chaudière et les accessoires, tout frais compris, d'après M. Jullien.

FORCES des machines en chevaux.	MACHINES SANS DETENTE		MACHINES A DÉTENTE		PRIX moyens par 1 kilog. de métal.
	sans condensation.	à condensation.	sans condensation.	à condensation.	
	fr	fr	fr	fr	fr
1	1 540	2 000	1 760	2 000	2.24
2	2 600	3 460	2 970	3 400	2.09
3	3 800	4 900	4 350	4 950	1.85
5	5 390	6 950	6 150	7 000	1.74
7	7 300	8 450	8 300	9 500	1.62
9	9 550	12 400	10 000	12 450	1.53
12	12 200	15 800	14 000	15 850	1.46
16	15 250	19 700	17 400	19 800	1.42
20	18 650	24 200	21 250	24 200	1.36
25	22 500	28 600	25 700	29 300	1.33
30	26 700	34 500	30 600	35 000	1.30
35	31 600	40 650	36 200	41 200	1.27
45	36 700	47 500	42 000	48 000	1.23
55	41 800	54 000	48 000	54 200	1.20
65	49 000	63 100	56 000	64 000	1.19
75	56 000	72 000	63 500	72 500	1.17
85	63 200	81 700	72 000	82 000	1.14
110	79 200	102 500	90 200	103 500	1.11
140	97 500	126 500	111 000	127 000	1.08
170	116 500	153 000	135 000	154 000	1.06
210	142 000	184 000	162 000	185 000	1.05
250	168 000	218 000	192 000	219 000	1.02
300	197 000	255 000	225 000	257 000	1.00
350	230 000	298 000	263 000	300 000	0.98
400	264 000	344 000	300 000	343 000	0.97
450	304 000	390 000	345 000	392 000	0.96
500	340 000	440 000	390 000	445 000	0.95

Dans les sommes de ce tableau, on compte 1/10 pour les frais d'emballage, de pose et imprévus.

Le prix du kilogramme de métal brut est estimé :

0f,55 pour la fonte, 0f,60 pour le fer, 0f,70 pour la tôle et 3f,00 pour le cuivre.

Pour une machine de 50 chevaux à balancier, le prix du métal façonné sans le 1/10 de frais divers, est respectivement :

0f,80	3f,00	1f,00	5f,00.

Prix des locomobiles. (Voir 4e partie).

Force nominale.	Sans roues.	Avec roues.
6 chevaux.	5500 fr.	6000 fr
9 *id.*	8000	8500
12 *id.*	9800	10500
15 *id.*	11000	12000

411. ***Poids des machines à vapeur.*** **Des recherches de M. Chabrol ont appris que le poids moyen des machines fabriquées en France, de 1800 à 1825, était de 1460 kilogrammes par force de cheval; un seul constructeur avait pu le réduire à 1000 kilog. En 1844, dans les meilleures constructions, ce poids s'élevait à 700 ou 800 kilog., non compris une constante de 1500 à 2000 kilog. qui se reportait sur toute la machine. Pour les locomotives, marchant à leur maximum d'effet, ce poids, y compris le tender, n'excédait pas 500 kil. par force de cheval développée.**

TABLEAU des poids des métaux contenus dans les machines à balancier, sans détente ni condensation, d'après M. Jullien.

FORCES des machines en chevaux.	POIDS DE fonte.	POIDS DE fer.	POIDS DE tôle.	POIDS DE cuivre.	POIDS totaux
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
1	400	40	240	9	689
2	755	77	400	16	1 248
3	1 260	132	640	26	2 058
5	1 955	208	940	40	3 143
7	2 825	310	1 320	58	4 513
9	3 900	436	1 800	80	6 216
12	5 200	595	2 400	107	8 302
16	6 710	790	3 120	138	10 738
20	8 500	1 020	3 960	175	13 655
25	10 500	1 280	4 960	215	16 955
30	12 800	1 590	6 120	264	20 774
35	15 400	1 950	7 400	317	25 667
45	18 200	2 350	8 960	375	29 885
55	21 341	2 917	10 000	438	34 696
65	24 900	3 320	12 640	510	41 370
75	28 600	3 870	14 920	590	47 960
85	32 600	4 465	17 400	670	55 135
110	42 400	5 950	22 200	870	71 420
140	53 800	7 650	27 700	1110	90 260
170	67 000	9 650	34 000	1370	112 020
210	82 000	12 000	41 400	1680	137 060
250	98 000	14 700	49 600	2040	164 340
300	118 000	17 600	59 000	2420	197 020
350	139 500	21 300	69 600	2850	233 250
400	161 500	24 850	81 400	3320	275 070
450	186 000	29 200	94 600	3820	313 620
500	214 000	33 800	109 000	4400	364 200

(BLEAU des proportions des métaux entrant dans la construction des différents genres de machines.

MACHINES.	FONTE.	FER.	TÔLE.	CUIVRE.	TOTAL.
ns détente, ni condensation.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ns détente, à condensation..	1.44	1.12	1.00	1.38	1.29
détente, sans condensation.	1.22	1.02	1.00	1.07	1.14
détente et condensation. . .	1.46	1.12	1.00	1.38	1.30

l'aide de ces tableaux, on déterminera facilement les poids des érents métaux qui entrent dans une machine quelconque à bacier, et par suite le prix de la machine (410).

L Jullien pose ce résultat remarquable, que le poids total des maaes, par cheval, est à peu près constant, quelle que soit la puisce, et égal à

600 kilog. pour les machines sans détente ni condensation;
700 pour les machines à détente sans condensation;
800 pour les machines à condensation avec ou sans détente.

our les machines horizontales, le même auteur donne les poids rens relatifs suivants :

	Fonte.	Fer et tôle.	Cuivre.
Machines à balancier. . .	1,00	1,00	1,00
Machines horizontales. . .	1,10	0,84	0,82

12. *Modèle de traité à forfait pour la construction d'une machine à vapeur.*

itre les soussignés :

A..., filateur à..., domicilié à..., et M. B..., constructeur de machines, domià..., rue...,

été convenu ce qui suit :

t. 1er. M. B... s'engage à construire pour M. A..., qui l'accepte, une machine à ur avec son générateur, sa cheminée et tous les accessoires et agrès, le tout é, mis en place et essayé avant la livraison. Cette machine, destinée à mouvoir la ire de M. A..., sera conforme au plan d'ensemble annexé au présent traité et remles conditions suivantes :

Sous la pression de 6 atmosphères accusée par le manomètre dans la chaudière ns une détente commençant au quart de la course du piston, la machine devra er au moins 100 chevaux de force, comptés au dynamomètre sur l'arbre de l'usine int x du plan ci-joint;

La machine donnera très-uniformément 36 tours d'arbre par minute sans sees ni points morts sensibles;

La vapeur sortant du cylindre pourra être à volonté, ou bien déchargée dans sphère, ou bien conservée et employée dans l'usine;

Le générateur aura au moins 140 mètres carrés de surface de chauffe divisée en chaudières, dont chacune pourra être au besoin isolée des autres et vidée pour nettoyée;

5° La machine et la chaudière seront installées d'une manière commode, avec tout facilité de visite et entretien, dans le bâtiment qui existe actuellement contre l'usine de M. A..., et que M. B... déclare connaître. Cette installation aura lieu de manière à ce qu'il n'en résulte aucunes secousses ni vibrations pour les bâtiments voisins et [illegible] compromettre leur durée.

Art. 2. La consommation garantie sera par heure de ... kilogrammes de houille de qualité ordinaire. Le prix ci-après stipulé sera réduit de ... francs par 50 kilogrammes excédant par heure cette consommation, et augmenté au contraire de ... francs par 50 kilogrammes brûlés en moins de la consommation garantie.

Art. 3. Le constructeur garantit que l'appareil sera loyalement exécuté dans toutes ses parties avec des matériaux de bonne qualité sans cale ni pièces de remplissage, c'est-à-dire exempt de tout vice de construction, et qu'il fonctionnera pendant ... années, une ordinairement, sans autres réparations que celles provenant de l'usure habituelle et des avaries survenues par force majeure. Il s'engage en outre, pendant ... mois, à dater du commencement du service, à faire toutes les réparations nécessaires, sauf celles qui surviendraient par force majeure.

Art. 4. Les agents et ingénieurs de M. A... auront en outre toute liberté de [illegible] surveiller l'exécution des travaux dans les usines du constructeur.

Art. 5. Les appareils ci-dessus seront mis en place et prêts à fonctionner le ... [illegible] peine de ... francs par jour de retard, lesquels seront imputés sur le premier [illegible]ment échu.

Art. 6. Le prix est fixé à forfait pour la machine et le générateur complets et [illegible] place, à la somme de ... francs, sans que les parties puissent prétendre aucune ré[illegible]tion ni augmentation, même pour les modifications que croirait devoir apporter le [illegible]structeur ou qui seraient consenties par lui. Le prix des fondations pour la mach[illegible] la cheminée, le générateur et tous les accessoires, ainsi que les réparations à [illegible] aux bâtiments, sera payé suivant état, d'après les mémoires, sauf vérification [illegible] a lieu.

Art. 7. Le prix ci-dessus sera payé à la caisse de ... et sous la réserve de l'art[illegible] savoir :

1/4 sur-le-champ, à titre d'arrhes;

1/4 à l'achèvement des travaux chez le constructeur;

1/4 à la mise en place complète dans l'usine;

1/4 après la garantie de ... mois.

Art. 8. En cas de contestations, elles seront jugées par le tribunal de commerce [illegible] Pour la signification des actes et la réception de leur correspondance, les parties [illegible] domicile aux adresses ci-dessus, et elles conviennent que l'enregistrement des [illegible]sentes sera à la charge de celui qui nécessitera cette mesure.

Fait double à ..., le ...,

Signatures des parties.

Très-souvent la cheminée et le fourneau ne sont pas à la charge du mécanicien [illegible] fournit seulement la machine avec sa roue ou poulie de commande, et la ch[illegible] munie de tous ses accessoires tels que robinets, tube indicateur du niveau, [illegible]teur, soupapes de sûreté, manomètre et tuyauterie complète, en limitant à 3 [illegible] la longueur du tuyau d'échappement de la vapeur. Les accessoires du fourneau [illegible] grille, sommiers, plaques de fonte, portes..., sont à la charge de l'acquéreur, [illegible] fournies par le constructeur à ... francs le kilogramme. Dans ce cas, on modifie [illegible]séquence l'article 1er du traité.

BATEAUX A VAPEUR.

Force d'impulsion. La force nécessaire pour faire avancer un dans une eau tranquille d'un espace indéfini est

$$F = k\frac{AV^2}{2g}.$$

orce qui sollicite le bateau dans la direction du mouvement, en unités de 1000 kilog. (34);
aître-couple (plus grande section transversale de la partie plongée du bateau[1], en mètres carrés;
itesse du bateau, en mètres par seconde;
coefficient très-variable dépendant de la forme du bateau.

1,10 quand le bateau est un prisme rectangulaire droit dont la longueur est cinq ou six fois la largeur.
quand la proue (avant du bateau) est disposée comme dans le cas précédent, a poupe (arrière du bateau) est formée de deux plans verticaux inclinés à 45° te du bateau. Dans les applications aux bateaux ordinaires, on peut supposer, ainte d'erreur sensible, que la diminution de k, due à la poupe, est égale à 1/10 de la valeur 1,10 qui convient au prisme.
s plans verticaux inclinés sont placés sur la proue du bateau prismatique, au l'être sur la poupe comme dans le cas précédent, les angles de ces plans avec bateau étant successivement :

90°, 78°, 66°, 54°, 42°, 30°, 18°, 6°.

urs respectives de k sont :

1,10, 1,05, 0,93, 0,76, 0,60, 0,48, 0,46, 0,44.

joutant une poupe, les valeurs précédentes de k diminuent de 1/10 de 1,10, et viennent respectivement :

1,00, 0,94, 0,82, 0,65, 0,49, 0,37, 0,35, 0,33.

proue cylindrique à axe vertical réduit la valeur 1,10 de k à $1{,}10 \times \frac{13}{25} = 0{,}57$.

tant une poupe, on a $k = 0{,}46$.
proue est formée par les prolongements des faces latérales du prisme, et limitée ous par un plan incliné à 43° avec l'horizon, on a $k = 1{,}10 \times 0{,}55 = 0{,}605$; le plan est incliné à 25°26′ à l'horizon, on a $k = 1{,}10 \times 0{,}43 = 0{,}473$. En t une poupe, on aurait donc respectivement, pour les deux proues précé- $k = 0{,}495$ et $k = 0{,}363$.
les grands vaisseaux, on est arrivé à réduire k à 0,22 ou 0,24.
les bateaux à vapeur, avec les formes arrondies en tous sens qu'on leur donne, de 0,16 à 0,18; en Amérique, on est même arrivé à avoir $k = 0{,}12$.
des essais plus récents, il paraîtrait que l'on serait parvenu à réduire la va- k à 0,05 et même à 0,045.
valeurs de k augmentent quand la section de l'eau n'est pas très-grande, en lar- t en profondeur, par rapport à A.

414. *Travail moteur absorbé en une seconde par la marche du bateau.* Ce travail étant représenté par $\mathcal{T}_u$, on a

$$\mathcal{T}_u = FV = k\,\frac{AV^3}{2g}.$$

V espace parcouru par la puissance F en une seconde.

Les autres lettres ont les mêmes significations qu'au n° 413.

Cette formule fait voir que pour un temps donné le travail moteur dépensé est proportionnel au cube de la vitesse du bateau; mais l'expérience prouve que ce n'est que pour des vitesses qui ne dépassent pas 4 mètres par seconde; au-dessus de cette limite, des expériences montrent que le travail croît dans un rapport inférieur à celui du cube de la vitesse, ou que la puissance F croît dans un rapport inférieur à celui du carré de la vitesse.

Pour un espace parcouru E, le travail dépensé par le moteur est

$$\mathcal{T}'_u = FE = k\,\frac{AV^2}{2g}\,E.$$

Formule qui fait voir que, pour un même espace parcouru, le travail dépensé est proportionnel au carré de la vitesse du bateau.

415. *Impulsion au moyen de roues à palettes.* Représentant par F' la résistance que l'eau oppose au mouvement des palettes, on peut l'exprimer par une formule analogue à celle du n° 413; mais Coriolis, en supposant que toute l'eau est frappée par les palettes, et en tenant compte des bouillonnements, a posé la formule suivante, qui s'écarte moins de la pratique :

$$F' = k'\,\frac{aV}{2g}\,(v - V).$$

a section des roues à palettes, ou plutôt surface d'une aube, s'il n'y a qu'une roue, et surface de deux aubes, s'il y a deux roues;
V vitesse du bateau;
v vitesse de rotation du centre de gravité des palettes;
$(v-V)$ vitesse avec laquelle les palettes frappent l'eau;
k' coefficient dont la valeur varie de 1 à 1,25 lorsque l'eau est calme; les valeurs 1 à 1.10 s'appliquent aux palettes fixes, et celles 1,25 et même 1,30 aux palettes articulées ou mobiles. Les vagues augmentent la valeur de k'.

Quand le mouvement du bateau est arrivé à l'uniformité, la résistance que l'eau oppose au mouvement des roues est égale à celle qu'elle oppose au mouvement du bateau; on a donc (413).

$$F = F' \quad \text{ou} \quad k\,\frac{AV^2}{2g} = k'\,\frac{aV}{2g}\,(v - V);$$

d'où l'on tire $\quad V = \dfrac{k'av}{k'a + kA}, \quad$ ou $\quad v = \dfrac{V(k'a + kA)}{k'a}.$

mule qui fait voir que la vitesse V du bateau est proportionnelle itesse de rotation v des palettes, et que si la section a des pa- est très-grande par rapport au maître-couple A, on a $V = v$; mais ans le cas contraire, comme cela a toujours lieu dans la prati- n a $V < v$.

. *Travail moteur absorbé par seconde pour communiquer la vi- elative aux palettes.* En représentant ce travail par $\mathcal{T}_p$, comme est l'espace parcouru par la résistance F' en une seconde, on a

$$\mathcal{T}_p = F'(v-V) = k' \frac{aV}{2g}(v-V)(v-V) = k' \frac{aV}{2g}(v-V)^2.$$

. *Force de la machine d'un bateau recevant son impulsion au des roues à palettes.* Le travail moteur $\mathcal{T}_m$ produit par la ma- en une seconde est égal au travail $\mathcal{T}_u$ absorbé par la résistance bateau éprouve à avancer (414), et qui est le travail utile, plus ail $\mathcal{T}_p$ absorbé par la résistance que les roues éprouvent à se ir (416), et qui est le travail perdu; on a donc

$$\mathcal{T}_m = \mathcal{T}_u + \mathcal{T}_p = k\frac{AV^3}{2g} + k'\frac{aV}{2g}(v-V)^2,$$

remplaçant v par sa valeur (1), n° 415, et en transformant,

$$\mathcal{T}_m = \frac{V^3}{2g} kA\left(1 + \frac{kA}{k'a}\right).$$

e formule est d'accord avec la pratique et donne exactement la de la machine pour des vitesses V qui ne dépassent pas 4 mètres econde; au-dessus de cette limite, la force de la machine est dre que celle donnée par la formule.

. *Rapport du travail utile au travail perdu.* Ce rapport est

$$\frac{\mathcal{T}_u}{\mathcal{T}_p} = \frac{FV}{F'(v-V)} = \frac{V}{(v-V)}. \qquad (414 \text{ à } 416)$$

ession qui fait voir que ce rapport est d'autant plus grand que est plus petit, c'est-à-dire que la vitesse du bateau diffère moins lle des palettes, et qu'il serait infini, c'est-à-dire que le travail serait nul, si les palettes ne pénétraient pas dans l'eau; car on aurait $v - V = 0$.

nt

$$F = F' \quad \text{ou} \quad k\frac{AV^2}{2g} = k'\frac{aV}{2g}(v-V), \qquad (415)$$

l'on tire
$$\frac{V}{v-V} = \frac{k'a}{kA},$$

donc aussi
$$\frac{\mathcal{T}_u}{\mathcal{T}_p} = \frac{k'}{k} \times \frac{a}{A}.$$

Expression qui fait voir que le rapport du travail utile au travail perdu est d'autant plus grand, que la section a des palettes est plus grande par rapport au maître-couple A.

Pour les bateaux voyageant sur mer, le rapport du maître-couple à la section des palettes varie, d'après M. Campaignac, de 4,5 à 7, suivant que la force de la machine varie de 12 à 220 chevaux, et il est moyennement de 6,75 pour les bateaux de 80 à 200 chevaux. Sur les cours d'eau, ce rapport varie ordinairement de 3,5 à 4, et il est encore moindre pour les petits bateaux de rivières.

Sur la haute Seine, le tirant d'eau des bateaux à vide, c'est-à-dire la profondeur à laquelle ils plongent, varie de $0^m,27$ à $0^m,30$; sur la Loire et la Moselle, il est de $0^m,22$ seulement. Pour les bateaux de 40 chevaux environ, le tirant d'eau varie de $0^m,40$ à $0^m,50$.

Supposant $a = 1$, $A = 4$ $k' = 1$ et $k = 0,17$, on a

$$\frac{\mathcal{T}_p}{\mathcal{T}_u} = \frac{4 \times 0,17}{1 \times 1} = 0,68, \quad \text{et} \quad \frac{\mathcal{T}_m}{\mathcal{T}_u} = \frac{1 + 0,68}{1} = 1,68.$$

Ce qui fait voir que le travail utile $\mathcal{T}_u$ étant représenté par 1, le travail perdu $\mathcal{T}_p$ l'est par 0,68, et le travail moteur $\mathcal{T}_m$ par 1,68.

M. Colladon, dans des expériences faites à Genève, a trouvé que le travail perdu était les 0,33 du travail moteur pour un bateau, et les 0,31 pour un autre; c'est un peu moins que ne l'indiquent les rapports précédents.

419. *Calcul de la force d'une machine de bateau.* Supposons que l'on a $V = 3^m,25$, $k = 0,17$, $k' = 1$ et $A = 4a$.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule

$$\mathcal{T}_m = \frac{V^3}{2g} kA \left(1 + \frac{kA}{k'a}\right), \tag{417}$$

on a
$$\mathcal{T}_m = \frac{34,33 \times 0,17}{19,62} \times A(1 + 0,68) = 0,5A.$$

Si l'on suppose $A = 1^{mc},00$, on aura $\mathcal{T}_m = 0,5$ de grande unité dynamique, ou

$$\mathcal{T}_m = \frac{0,500}{0,075} = 6,67 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Ainsi, chaque mètre carré de section du maître-couple exigera 6,67 chevaux de force; ce qui donne, pour un bateau de petite navigation de 450 tonneaux et de 24 mètres carrés de maître-couple,

$$\mathcal{T}_m = 6,67 \times 24 = 160 \text{ chevaux.}$$

nt la construction des bateaux de 450 chevaux que fit exécuter
uvernement français en 1845, on n'avait encore établi en France
es bateaux de 250 chevaux au maximum; en 1851, on a con-
le vaisseau à hélice le *Napoléon*, de 1000 chevaux et de 90 ca-
et en 1855, le vaisseau la *Bretagne*, de 130 canons et de la force
0 chevaux.

). *Travail moteur nécessaire pour faire remonter ou descendre une*
e par un bateau. L'expression de ce travail est analogue à celle
e pour une eau tranquille (417); ainsi on a, quand le bateau
nte,

$$T_m = \frac{(V+u)^3}{2g} kA \left(1 + \frac{kA}{k'a}\right).$$

vitesse de l'eau par seconde;

Les autres lettres ont les mêmes significations qu'aux n°s 413 et 415.

vitesse relative du bateau par rapport à l'eau.

nd le bateau descend, l'expression de ce travail devient

$$T_m = \frac{(V-u)^3}{2g} kA \left(1 + \frac{kA}{k'a}\right).$$

) vitesse relative du bateau par rapport à l'eau.

1. *Bateau sur un canal.* Comme la section d'un canal est assez
e, l'espace occupé par le bateau la diminue sensiblement; ce
augmente la vitesse relative de l'eau de chaque côté du bateau,
r suite le travail moteur (420). Afin que la vitesse du bateau ne
pas diminuée par ce surcroît de vitesse relative, on augmente
peu la vitesse des roues à palettes.

t2. *Impulsion au moyen des roues à hélices.* Toutes les formules
es aux n°s 413 à 418 sont applicables aux bateaux à hélices; seu-
nt, alors, la vitesse de rotation v est la vitesse de l'hélice dans
ns du mouvement du bateau, c'est-à-dire la vitesse de rotation
point quelconque de la roue, multipliée par le rapport entre le
de l'hélice et la circonférance décrite par ce point. a est la sur-
de la base du cylindre circonscrit à l'hélice, moins la section de
re; c'est πR^2, en négligeant cette section et en désignant par R
yon du cylindre (430).

s hélices sont complétement noyées, ce qui les rend avantageuses
r les bâtiments de guerre et dans le gros temps; on les place à
ière du bateau. Leur surface doit être lisse et leurs angles bien
s; on les coule en bronze, et toute la roue d'une seule pièce,

423. *Exemples de grands bâtiments à vapeur.*

Le Great-Western, deuxième navire à vapeur qui, e
le voyage d'Angleterre en Amérique (de Bristol à New-
la contenance de 1604 tonneaux; sa force est de 450
deux machines; ses quatre chaudières pèsent 180 tonn
sont entourées d'une chambre contenant 900 tonnes d
qui suffit pour vingt-cinq jours de marche. Tout l'appar
pèse 470 tonnes. Le tirant d'eau est de 5^m,38. La longue
est de 240 pieds, et la largeur de 58 pieds, y compris
ont 38 pieds de diamètre. Le salon, richement décoré
82 pieds de long sur 34 pieds de large; il y a en outre
(chambres, chapelle, salle de conseil); le bateau port
servés aux passagers, et il reste encore un emplacem
de 200 tonneaux de marchandises. La durée du traje
New-York est de 16 jours, et le retour est de 13 jours
moyenne de marche est de 5,25 lieues à l'heure.

La Victoria, plus long de 35 pieds que le plus fort
marine royale, a 275 pieds de la poupe à la proue; s
500 chevaux; il est du port de 1863 tonneaux; il peut rec
sagers et 1000 tonnes de marchandises; sa construction
lions et demi.

La reine de l'Est, naviguant entre l'Angleterre et
tonnage de 2618 tonneaux; son tirant d'eau n'est que d
force est de 600 chevaux; sa longueur, de tête en tête, e
et de 282 pieds sur le pont. La longueur de la principale
de 128 pieds. On y trouve seize chambres contenant 40
passagers. Tout le reste est en proportion.

Le Léviathan est emménagé pour recevoir 4500 p
500 cabines de 1re classe, 1000 de 2e et 3000 de 3e; ses
contenir 3000 tonneaux de marchandises. Il coûtera p
lions de francs. Il a 680^p = 207^m,25 de longueur, 83^p =
geur, 58^p = 17^m,65 de profondeur de cale, et 18^p = 5^m,4
de tirant d'eau. Le tonnage est de 23000; le tonnage d
de la cargaison 18000. La force nominale des machine
vaux pour les roues et 1600 pour l'hélice. Il y a 5 chemin
Il doit faire le trajet de Liverpool à Portland.

424. La *consommation en charbon des machines de b*
variable; ainsi, elle s'élève à 5 et jusqu'à 10 kilog. de ho
de cheval et par heure, pour les machines à basse pre
tente; tandis que les machines à moyenne pression e
brûlent que 4 kilog. de houille; on est même arrivé à n
2^k,80. D'après M. Campaignac, les forces en chevaux des
successivement :

120	140	160	180	200	250	300	350	400	450	500

ogrammes de charbon brûlé par force de cheval et par heure est respec- des machines à basse pression à condensation détendant aux 7/10 de la n, telles que les construisent MM. Maudslay et Field :

4,185	4,030	3,870	3,710	3,555	3,385	3,280	3,150	2,985	2,820	2,655,

chauffe, en mètres carrés et par cheval :

1,000	0,965	0,925	0,890	0,850	0,810	0,785	0,755	0,715	0,675	0,630.

sse des bateaux à vapeur. Des bateaux ont atteint une vi- 50 et jusqu'à $7^m,00$. Aux vitesses qui approchent de ces orce de la machine est considérable pour une très-faible si, la marche ordinaire sur un cours d'eau est-elle de 3 à seconde. On estime qu'en mer, en faisant simultanément oiles et de la vapeur, on peut moyennement accélérer la à la vapeur de $0^m,50$ environ par seconde.

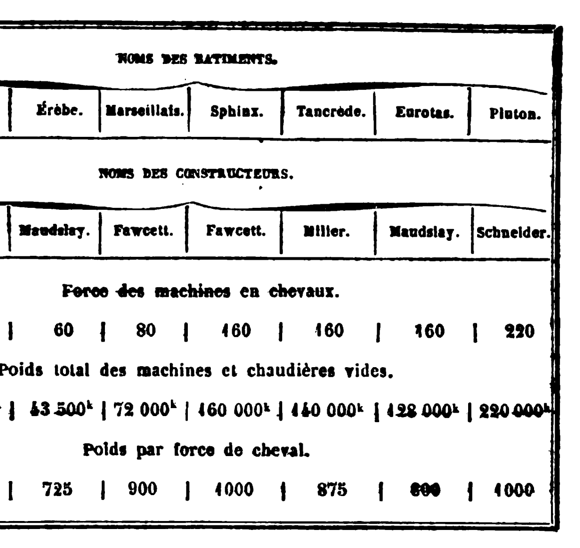
d'un navire par rapport à la surface de la mer se me- yen du *loch*; instrument qui consiste dans un secteur en ec du plomb qui le maintient perdiculaire à la surface des esquelles il plonge ; à cette planche triangulaire est fixée ivisée par des nœuds espacés de 15 mètres, et par d'autres $1^m,50$. Le loch jeté à la mer reste en place, et le nombre ont la ligne se déroule sur le bâtiment donne la vitesse, par le nombre des nœuds déroulés dans une demi-mi- dire qu'un navire file 10 nœuds, par exemple, cela si- a vitesse est de $\frac{15 \times 10}{30} = 5$ mètres par seconde.

ds des machines de bateaux. Sur rivières, ce poids varie de kilog. par force de cheval, roues à palettes, chaudière et contient comprises (le combustible n'est pas compris), achines à basse pression sans détente. Pour les machines moyenne pression, ce poids n'est que de 800 kilog. (411). même force, les machines sont plus légères sur rivières er.

Poids des différentes parties des machines et chaudières de l'Érèbe (Maudslay) *et du Sphinx* (Fawcett).

DÉTAILS.	ÉRÈBE pour 60 chevaux.	ÉRÈBE pour 1 cheval.	SPHINX. pour 160 chev.	SPHINX. pour 1 chev.
Organes des machines (cylindres à vapeur, tiroirs, appareils de condensation et d'alimentation, pompes d'épuisement, boulons d'assemblage, tuyaux d'alimentation, d'évacuation et de condensation).	k. 9 528.10	k. 158.80	k. 34 701	k. 216.[illegible]
Charpente des machines (toutes les parties fixes).	4389.00	73.15	21 667	135.[illegible]
Mécanisme proprement dit (toutes les parties mobiles, non compris les arbres de transmission et leurs manivelles). . .	3 921.50	65.36	13 730	85.8[illegible]
Transmission de mouvement (arbre intermédiaire avec ses manivelles, arbre des roues avec tout ce qu'ils portent, roues à palettes)	5354.10	89.23	28 004	175.0[illegible]
Appareil évaporatoire (valves régulatrices, tuyau d'arrivée de vapeur, corps de chaudières, cheminée, foyers, soupapes, robinets, flotteurs, tuyaux d'évacuation des soupapes d'arrêt, prises d'eau, tuyaux pour remplir et vider les chaudières, pompes à bras, soutes à charbon en tôle.	19 318.00	321.97	56 828	355.[illegible]
Accessoires, parquets, entourage ou garde-corps des machines, garniture pour trous-d'homme, cercle et haubans de cheminée, escalier pour descendre aux machines.	1 225.50	20.42	5 747	35.9[illegible]
Total.	43736.20	728.93	160 677	1004,2[illegible]

appareils à vapeur marins complets pour divers bâtiments.



NOMS DES BATIMENTS.					
Érèbe.	Marseillais.	Sphinx.	Tancrède.	Eurotas.	Pluton.
NOMS DES CONSTRUCTEURS.					
Maudslay.	Fawcett.	Fawcett.	Miller.	Maudslay.	Schneider.
Force des machines en chevaux.					
60	80	160	160	160	220
Poids total des machines et chaudières vides.					
43 500k	72 000k	160 000k	140 000k	128 000k	220 000k
Poids par force de cheval.					
725	900	1000	875	800	1000

ons des bateaux (423). Sur rivières, la longueur des
aussi grande que possible, afin de diminuer le maître-
ement, elle est égale à onze ou douze fois la largeur.
longueur à la largeur mesurées à la flottaison varie
pour les vaisseaux et frégates à voiles; il est de 6 à 7
, et il paraît convenable de faire varier ce rapport
r les bâtiments à vapeur.
es roues à palettes à l'avant du bateau est ordinaire-
2/5 de la longueur totale du bateau; cependant, en
ns beaucoup de bateaux, les roues sont placées au
gueur, et dans quelques bateaux il n'y a qu'une roue
t à l'arrière.
é avec succès les roues à palettes par la roue à hélice,
. Sauvage (422).
e règle fixe pour déterminer le diamètre des roues à
prend le plus grand possible, en le combinant avec
machine, et de manière que le centre des palettes ait
ée convenable pour imprimer le mouvement voulu
ngleterre et en France, il est ordinairement égal à
course du piston; en Amérique, la course du piston
et le rapport du diamètre des roues à cette course est

ont noyées de 0m,06 à 0m,10 dans l'eau, et leur nombre

est tel, qu'une palette plongeant verticalement, la palette qui la précède sort de l'eau et celle qui lui succède y entre; cependant, afin d'éviter les secousses, le nombre des palettes dépasse celui qu'exigerait cette condition. En mer, l'écartement des palettes, mesuré sur la circonférence extérieure, varie généralement de 0m,91 à 1m,22.

TABLEAU des dimensions des principales parties des bateaux à vapeur de la compagnie des Aigles, construits à la Seyne, près Toulon. (Machines de MM. Miller et Ravenhill, de Londres.)

NOM DU BATEAU	Aigle-de-la-mer.	Aigle-du-Rhône.	Aigle-du-Rhône.	Aigle-de-la-Saône.
DESTINATION	Marseille et Arles.	Arles et Lyon.	Arles et Lyon.	Lyon et Chalon.
FORCE en chevaux pour les deux machines.	80	80	86	40
Longueur totale sur le pont	51m.844	60m.958	60m.958	51m.844
Largeur de dehors en dehors	6 .096	6 .096	5 .486	4 .877
Hauteur du pont au-dessus de la plate-forme inférieure du navire.	3 .048	2 .646	2 .235	2 .235
Tirant d'eau. Lége (avec machines et charbon)	0 .640	0 .508	0 .406	0 .456
Tirant d'eau. En charge (avec passagers ou marchandises)	1 .249	0 .660	0 .610	0 .533
Diamètre des cylindres à vapeur	0 .940	0 .940	0 .80	0 .711
Course des pistons	0 .914	0 .914	0 .762	0 .610
Pression absolue de la vapeur dans la chaudière, en atmosphères	1 .333	1 .455	1 .455	1 .455
Nombre de coups de piston par minute, à la vitesse de régime	30	30	34	40
Diamètre des roues en dehors des aubes	4m.572	4m.267	4 .115	3m.810
Longueur des aubes	2 .133	2 .286	2 .057	1 .829
Hauteur ou largeur des aubes	0 .457	0 .406	0 .384	0 .279
Nombres d'aubes	14	14	12	12

Bateaux transatlantiques construits aux États-Unis et faisant le service du Havre à New-York.

	Franklin.	Humboldt.
Longueur	75m,00	84m,00
Largeur	12m,00	12m,00
Bordée	7m,80	8m,40
Tonnage	1900t,00	2200t,00
Puissance des doubles machines à balancier	780ch,00	800ch,00
Diamètre des cylindres à vapeur	2m,80	2m,86
Course des pistons	2m,40	2m,70
Diamètre des roues	»	10m,80

NOM DU CONSTRUCTEUR, ou système de construction de l'appareil								
Force en chevaux pour les deux machines		60	80	160	160	160	220	220	450
Cylindres à vapeur.	Diamètre des pistons	0m.816	0m.914	1m.221	1m.221	1m.221	1m.231	1 .430	1m.930
	Course des pistons	0 .914	1 .067	1 .372	1 .448	1 .372	1 .676	1 .500	2 .280
	Chemin parcouru pendant l'introduction de la vapeur	0 .690	0 .774	0 .960	1 .303	0 .995	1 .257	1 .087	2 .052
Pompes à air.	Diamètre des pistons	0 .460	0 .510	0 .710	0 .715	0 .674	0 .813	0 .783	1 .150
	Course des pistons	0 .457	0 .533	0 .686	0 .724	0 .686	0 .838	0 .750	1 .140
Pompes alimentaires.	Diamètre des pistons	0 .089	0 .088	0 .145	0 .140	0 .133	0 .152	0 .154	0 .200
	Course des pistons	0 .457	0 .533	0 .686	0 .724	0 .686	0 .838	0 .750	1 .140
	Eau que peut fournir chaque pompe à la marche normale (en litres), par heure	5453	5284	15848	14705	13343	18248	18444	35098
	Nombre de coups de pistons par minute à la marche normale	32	27 1/7	23 1/3	22	23 1/3	20	22	16 1/3
Diamètre de l'ouverture donnant entrée à la vapeur dans l'enveloppe du cylindre, ou dans la boite à soupape d'expansion variable pour les 450		0m.171	»	0m.250	0m.220	0m.268	0m.260	0m.311	0m.380
Course des tiroirs		0 .166	0m.144	0 .280	0 .203	0 .224	0 .250	0 .244	0 .320
Ouverture donnant entrée à la vapeur dans la boîte à tiroirs	Longueur	0 .275	diamèt.	0 .540	0 .380	0 .455	diamèt.	0 .529	0 .560
	Largeur	0 .100	0 .180	0 .155	0 .125	0 .128	0 .260	0 .149	0 .200
Ouverture donnant entrée à la vapeur dessus et dessous le piston	Longueur	0 .295	0 .330	0 .470	0 .380	0 .455	0 .510	0 .570	0 .800
	Largeur	0 .065	0 .074	0 .103	0 .097	0 .0885	0 .120	0 .097	0 .160
Diamètre des soupapes de sûreté (à l'exception du 450 qui a deux soupapes par machine, les autres n'en ont qu'une par machine)		0 .140	0 .130	0 .230	0 .156	0 .156	0 .203	0 .190	0 .200
Diamètre des roues.	A l'extérieur des cercles qui unissent les rayons	3 .790	4 .579	5 .961	6 .093	6 .040	6 .885	6 .600	9 .260
	A l'extérieur des pales	3 .657	4 .419	5 .791	5 .943	5 .844	6 .705	6 .400	9 .000
	A l'intérieur *id.*	2 .857	3 .505	4 .571	4 .623	4 .644	5 .485	5 .000	7 .600
Pales des roues.	Nombre pour chaque roue	10	13	14	16	18	20	18	24
	Longueur des pales	1m.830	1m.981	2m.438	2m.438	2m.660	2m.743	2m.700	3m.000
	Largeur *id.*	0 .400	0 .457	0 .610	0 .660	0 .615	0 .610	0 .700	0 .800
	Surface de chaque pale	0 .732	0 .905	1 .487	1 .609	1 .636	1 .673	1 .890	2 .400

499. ***TABLEAU** des dimensions principales de quelques bateaux à vapeur à roues pour rivières*
(extrait du *Traité des machines à vapeur* de M. Gaudry).

NOMS DES BATEAUX.	LIGNE ET SERVICE.	ANNÉE de la construction.	CONSTRUCTEURS.	FORCE nominale.	FORCE réelle.	COQUE. Longueur.	COQUE. Largeur.	COQUE. Creux.	COQUE. Tirant d'eau maximum en charge.	COQUE. Section immergée.	COQUE. Vitesse en kilomètres.
				chev.	chev.	mètr.	mètr.	mètr.	mètr.	m. car.	kilom.
Clémence-Isaure	Garonne	»	Jollet	24	»	36.00	3.00	»	0.50	1.50	17.00
Parisien, n° 1	Haute-Seine	1835	Cochot père	25	»	30.00	3.30	2.00	0.50	1.65	12.00
Parisien, n° 2	Saône	1846	Cochot frères	120	»	67.00	4.00	2.25	0.80	3.20	19.00
Parisien, n° 4	Rhône	1851	*Id.*	240	»	80.00	4.15	2.25	0.80	3.32	16.00
Papin, n° 9	*Id.*	1852	Salmon	125	»	80.00	4.00	»	0.70	2.80	18.00
Avant-Garde, n° 3	Saône	1851	Arnaud	60	»	64.00	4.20	»	0.70	2.90	16.00
Avant-Garde, n° 6	*Id.*	1852	*Id.*	200	»	80.00	4.00	»	0.80	3.20	20.00
Hirondelle, n° 6	*Id.*	1843	Jackson	60	»	60.00	5.00	»	0.70	3.50	16.00
Le Neptune	Seine	1853	Normand et Baudu	150	»	70.00	4.40	2.10	1.20	4.75	19.00
Le Napoléon	*Id.*	1851	Cavé	120	148	70.00	4.00	»	0.80	»	»
Le Belot	Saône	1854	Corady	»	194	80.00	4.25	»	0.80	»	20 rem.
Express	Rhône (voyag.)	1853	Carsenac	450	450	82.00	4.50	2.30	0.85	8.00	22 rem.
Ébro	Èbre (voyag.)	1855	Creuzot	80	»	49.00	4.80	2.30	»	»	»
Le Mogador	Rhône	1852	Oullins	80	»	100.00	5.00	»	0.90	4.5	»
Papin, n° 6	*Id.* (march.)	1854	Creuzot	260	»	148.00	6.50	2.70	2.00	11.70	8.00
Citizen	Omnibus de la Tamise	1849	Penn	24	»	22.50	8.00	»	»	»	rapide.
Waterman	dans Londres	1843	*Id.*	32	46	30.40	3.45	2.00	0.00	2.80	*id.*
Le Castor	Du Havre à Honfleur et	1851	Nillus	25	75	25.00	4.00	»	1.00	4.00	10 nœuds.
Le Chamois	Trouville	1851	*Id.*	50	156	32.00	4.40	2.40	1.35	5.00	22.00
Saint-George	Remorqueur	1856	Cavé	70	»	48.00	4.40	2.40	0.62	»	»
Monorome	Navigation des canaux	1854	*Id.*	50	102	48.00	6.20	1.80	1.20	»	9.00

NOMS DES BATEAUX.	ROUES. Diamètre.	ROUES. Nombre de tours par minute.	ROUES. Nombre d'aubes.	ROUES. Longueur des aubes.	ROUES. Hauteur des aubes.	VAPEUR. Pression.	VAPEUR. Détente.	PISTONS. Nombre.	PISTONS. Diamètre.	PISTONS. Course.	DIMENSIONS DE LA MACHINE. Longueur.	DIMENSIONS DE LA MACHINE. Largeur.	DIMENSIONS DE LA MACHINE. Hauteur.	DIMENSIONS DE LA MACHINE. Surface de chauffe par cheval nominal.	SYSTÈME DE LA MACHINE.
	m			m	m	atm.			m	m	m	m	m	m	
Clémence-Isaure. . . .	2.90	42	12	1.65	0.35	6.0	»	2	0.250	0.50	»	»	»	0.80	Oscillante.
Parisien, n° 1.	3.30	38	12	2.00	0.40	3.5	0.5	1	0.53	1.20	2.5	1.00	1.60	1.20	Watt. A balanciers latéraux.
Parisien, n° 2.	4.85	34	14	2.60	0.45	1.5	0.6	2	1.25	1.00	5.00	3.00	2.40	1.20	Directe inclinée, cyl. fixes.
Parisien, n° 4.	5.00	34	14	3.00	0.60	1.5	0.7	2	1.45	1.20	5.00	3.50	2.70	1.20	*Id.*
Papin, n° 9.	4.90	36	14	2.60	0.50	4.0	0.3	2	0.86	0.91	4.80	2.70	2.40	1.05	Horizontale du Creuzot.
Avant-Garde, n° 3. . .	»	31	»	»	»	3.0	»	2	0.61	0.80	2.00	3.00	2.00	»	Jackson. A balanciers latéraux.
Avant-Garde, n° 6. . .	4.74	36	16	3.00	0.60	6.0	»	2	0.77	1.00	4.90	2.70	2.10	0.65	Horizontale du Creuzot.
Hirondelle, n° 6. . . .	4.74	32	14	2.00	0.40	3.5	0.4 / 0.6	2	0.65	0.83	2.80	2.40	1.90	1.30	Jackson. A balanciers latéraux.
Le Neptune	4.80	36	12	2.00	0.70	7.0	0.33	2	0.70	0.80	»	»	»	0.83	Oscillante vis-à-vis (Cavé).
Le Napoléon.	4.20	36	12	2.00	0.50	6.0	0.4	2	0.56	1.36	»	»	»	0.81	*Id.* côte à côte (Cavé).
Le Belot.	5.00	33	14	3 20	0.40	4.0	0.47	2	0.96	0.96	»	»	»	1.15	Horizontale du Creuzot.
Express.	5.50	35	15	3.50	0.40	5.0	0.25	2	1.20	1.20	9.00	3.00	3.00	0.50	*Id.*
Èbro.	»	36	16	»	0.45	5.0	0.25	2	0.86	1.00	6.50	2.50	3.00	1.47	*Id.*
Le Mogador.	4.80	30	12	2.00	0.50	3.0	»	2	0.83	1.00	«	»	»	»	Jackson. A balanciers latéraux.
Papin, n° 6.	6.00	28	14	4.00	0.60	3.5	0.25	1	1.90	2.25	12.00	2.50	3.50	0.87	Horizontale du Creuzot.
Citizen	3.04	40	»	1.38	0 25	3.0	»	2	»	»	2.00	2.20	1.70	»	Oscillante de Penn.
Waterman.	3.30	46	»	1.82	0.305	3.0	»	2	0.61	0.675	1.20	2.30	1.70	»	*Id.*
Le Castor.	3.00	40	12	1.30	0.40	2.5	0.6	2	0.55	0.56	1.00	2.20	1.60	1.60	*Id.*
Le Chamois.	3.70	42	11	1.34	0.51	2.5	0.6	2	0.735	0.76	1.00	»	»	1.60	*Id.*
Saint-George.	4.24	30	16	2.45	0.45	5.0	0.5	2	0.585	1.33	6.00	2.45	3.00	1.35	Oscillante de Cavé. Cyl. vis-à-vis.
Monorome.	3.80	28	8	2.40	0.50	5.5	0.6	2	0.50	1.00	»	»	»	1.21	Oscillante horizontale de Cavé.

430. ***TABLEAU** des dimensions principales de quelques bâtiments de guerre à hélice récemment construits*
(extrait du *Traité des machines à vapeur* de M. Gaudry).

NOMS DES NAVIRES.	SERVICE.	ANNÉE de la construction.	CONSTRUCTEURS.		FORCE		COQUE.					TIRANT D'EAU			Section immergée.	Sillage.
			COQUE.	MACHINE.	nominale.	réelle.	Longueur.	Largeur.	Creux.	Déplacement.	Tonnage.	avant.	arrière.	moyen.		
					chev.	chev.	mèt.	mèt.	mèt.	tonn.	tonn.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt. c.	mèt.
Encounter	Frégate anglaise	1849	Fincham	Penn	360	643	57.7	10.40	6.00	552	»	»	»	3.85	34.33	10.25
Arrogant	*Id.*	1849	*Id.*	*Id.*	360	623	60.4	13.90	6.00	1872	»	»	»	5.69	62.36	8.6
Niger	*Id.*	1849	Lang.	Maudslay	400	919	58.3	10.6	»	1672	»	»	»	4.35	35.00	10.42
Termagant	Frégate de 24, angl.	1849	Whit.	Sceaward	620	1354	63.00	14.00	7.60	1550	»	4.8	5.4	5.12	53.85	9.54
San-Jacinto	Vaisseau américain.	1847	»	»	»	375	65.50	11.60	7.47	2200	»	4.75	4.80	»	»	9.55
Flibany	Vaisseau russe	»	»	Napier	450	»	64.20	15.45	8.47	»	2585	»	»	6.60	84.74	»
Bretagne	Vaiss. franç. de 130.	1855	Cherbourg	Indret	1200	»	81.00	18.80	8.35	6466	»	»	»	»	»	14.00
Napoléon	Vaisseau de 90	1854	Dupuy-de-Lôme.	*Id.*	950	1300	73 25	16.80	»	»	5054	»	»	7.83	98.00	12.00
Charlemagne	Vaisseau mixte	1854	Toulon	Benett	450	630	59.8	16.24	»	»	»	»	»	7.40	92.00	9.5
Wagram	Vaisseau français.	1854	»	Creuzot	650	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Eylau	*Id.*	1855	Toulon	Cavé	900	»	60.00	17.00	11.5	»	»	»	»	7.30	»	»
Primauguet	Corvette française.	1832	»	Mazeline	400	»	55.00	11.00	8.0	»	»	4.50	5.20	4.85	53.00	»
Roland	Frégate française.	1852	Toulon	*Id.*	400	»	53.00	10.4	»	»	1300	»	»	4.58	37.6	12.00
Tourville	Vaisseau mixte franç.	1854	»	*Id.*	650	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Isly	Frégate française.	1854	Toulon.	Cavé	650	»	»	12.85	8.35	»	»	»	»	5.30	»	»
Pomone	Frégate de 46, franç.	1845	»	Mazeline	220	»	52.00	13.00	6.70	»	1925	»	»	5.85	»	»
Caton	Frégate française.	1848	»	Creuzot	260	»	54.00	9.25	5.55	»	900	»	»	5.57	22.28	»
Pélican	Aviso français	»	»	»	120	»	40.00	7.00	3.86	»	255	»	»	2.50	9.97	»
Chaptal	Corvette française	1847	Cavé.	Cavé	220	340	54.00	9.33	6.8	»	1060	»	»	3.60	24.00	11.00
Biche	Aviso français	1843	»	Mazeline	120	164	»	»	»	»	»	3.30	4.35	3.81	21.00	8.00
Id. (nouv. mach.)	*Id.*	1854	»	Bochet et Cavé.	200	»	»	»	»	»	»	3.30	4.35	3.81	21.00	»
L'Éclair	Canonn. (4 c. de 50).	1855	Toulon.	Creuzot	110	»	42.00	7.20	2.70	»	»	2.20	2.50	»	15.20	7.00
[illegible]	Canonnière	1855	*Id.*	Bourdon	100	»	30.00	6.30	2.60	»	»	»	»	4.05	9.30	»
Poudre	*Id.*	1855	Nantes	Cavé	100	»	33.00	6.66	2.00	»	»	2.00	2.00	»	»	»

	m	m		ailes.	atm.			mèt.	mèt.		m. c.	mèt.	mèt.	mèt.	tonn.	
Encounter. . .	3.65	4.50	80	2	1.00	0.75	2	1.40	0.68	80	»	»	»	»	»	Trunk-engine.
Arrogant . . .	4.57	4.50	60	2	1.00	0.75	2	1.40	0.91	60	»	»	»	»	»	*Id.*
Niger	3.64	5.1	75	»	1.7	»	4	0.94	0.45	75	»	»	»	»	»	Horiz. directe.
Termagant . .	4.65	5.40	70	»	1.5	»	4	1.24	1.06	36	»	»	»	»	»	Horiz., engrenage 2 à 1.
San-Jacinto. .	4.42	9.89	»	6	basse	»	2	1.56	1.27	31	476	»	»	»	»	Cyl. fixes inclin., avec engren.
Flibany	»	»	»	»	basse	»	2	1.80	0.76	»	»	»	»	»	»	»
Bretagne . . .	6.30	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Napoléon . . .	5.80	9.38	52	4	basse	0.8	2	2.42	1.63	25	»	10	10.00	»	950[a]	Horiz., engr. 2 à 1.
Charlemagne. .	5.00	7.00	52	2	1.0	0.7	4	1.30	1.00	52	»	»	»	»	»	Direction horizontale.
Wagram. . . .	»	»	46	»	2.5	0.3	4	1.44	1.20	46	910	9.50	6.20	4.8	»	Horiz. directe.
Eylau.	5.40	8.90	50	5	2.5	0.7	4	1.65	1.00	60	1444	6.40	10.00	4.40	600[a]	*Id.*
Primauguet. .	4.00	9.00	52	5	3.0	0.3	4	1.20	0.89	52	380	»	9.00	3.00	200	Horiz., bielles en retour.
Roland	3.71	5.43	»	4	basse	0.7	4	1.20	1.00	42	387	»	»	»	»	Horiz., dos à dos, engr.
Tourville . . .	»	»	45	5	3.0	»	4	1.45	1.20	45	440	6.00	7.00	3.00	»	Horiz., bielles en retour.
Isly.	4.80	8.00	55	4	2.5	0.8	4	1.56	0.80	55	987	5.20	7.62	4.40	120	Horiz. directe.
Pomone. . . .	»	»	»	»	»	»	2	1.47	1.47	38	»	»	»	»	»	Syst. Holm., horiz.
Caton.	»	»	»	»	»	»	»	1.42	1.40	»	»	»	»	»	»	»
Pélican	»	»	»	»	1.53	»	»	1.42	0.96	30	»	»	»	»	80	Oscillante. Penn.
Chaptal. . . .	3.20	6.40	70	4	1.00	0.7	4	1.00	0.70	70	»	6.40	5.8	3.00	»	Horiz., bielles en retour.
Biche	3.00	»	82	2	2.00	0.5	2	0.95	0.945	54	426	3.00	8.00	3.00	63	Horiz., dos à dos, engr.
Id. (nouv. mach.).	»	»	120	»	10.00	0.1	»	0.45	0.70	120	»	2.20	5.40	3.00	»	Cyl. fixes incl. vis-à-vis.
L'Éclair. . . .	1.86	2.45	140	4	5.00	0.2	»	0.45	0.50	140	196	2.50	2.60	0.80	»	Mouv. de locomotives.
***	1.00	1.25	225	4 (s. 0.40)	4.00	»	2	0.22	0.26	225	30	0.60	1.40	1.40	»	*Id.*
Poudre	1.83	2.20	160	2	5.00	»	2	0.44	0.40	160	406	1.81	2.02	0.62	»	*Id.*

[a] Tout compris en ordre de marche.

431. *TABLEAU des dimensions des parties principales des machines pour la navigation à vapeur*, de MM. Maudslay et Field (extrait du *Traité de la machine à vapeur*, publié à Londres, il y a plusieurs années, par l'*Artizan-Club*, réunion d'ingénieurs et de mécaniciens).

DÉSIGNATION DES DIVERSES PARTIES.	Puissance nominale en chevaux-vapeur.													
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Diamètre :	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.
Du cylindre	50.8	61.0	68.6	74.9	81.3	92.7	102	109	117	122	127	133	144	145
De la tige du piston	5.1	6.0	7.0	7.6	8.4	8.9	10.2	10.8	11.4	12.1	12.4	12.7	13.3	14.0
De la pompe à air	30.5	38.1	43.2	44.4	47.0	53.3	58.4	62.1	66.0	70.0	71.1	76.2	80.0	86.4
De la tige de la pompe à air	3.2	4.4	5.1	5.4	5.7	6.3	7.0	7.4	7.6	8.8	8.9	9.5	10.2	10.8
Du robinet d'injection	3.2	3.8	4.1	4.4	5.1	5.7	6.3	7.0	7.6	7.9	8.3	8.3	8.6	8.9
De la pompe à eau chaude	5.7	6.3	7.6	8.4	8.9	10.2	10.8	11.4	12.7	14.0	15.2	16.5	17.8	19.0
Du tuyau d'alimentation	3.8	4.4	5.1	5.1	5.7	6.3	6.3	7.0	7.6	8.3	8.3	8.9	8.9	10.2
Du tuyau à vapeur	10.2	12.7	14.6	15.2	16.5	17.8	19.7	21.6	23.5	25.4	26.7	27.9	29.2	30.5
Du tuyau de décharge de l'eau de condensation	12.7	15.2	17.8	19.0	20.3	22.9	24.1	25.4	26.7	29.2	31.1	33.0	34.3	35.6
De l'axe principal du balancier	8.9	10.8	12.7	13.3	14.0	15.2	16.5	17.8	19.0	20.3	21.6	22.9	24.1	24.8
Des axes extrêmes du balancier	5.1	6.0	7.0	7.6	8.3	8.9	10.2	10.8	11.4	11.4	12.7	13.3	13.3	14.0
Des tourillons sur le balancier des bielles de la pompe à air	3.2	4.1	4.4	4.8	5.1	5.7	6.3	6.3	7.3	7.3	7.6	7.9	7.9	8.3
Du bouton de la manivelle	6.3	7.6	8.9	9.5	10.2	11.4	12.7	14.0	15.2	16.5	17.8	18.7	19.7	20.3
De l'arbre moteur	10.8	14.0	15.9	17.1	17.8	19.0	21.6	23.5	25.4	26.0	26.7	29.2	30.5	34.7
Des roues à aubes	274	335	335	366	396	396	457	518	548	579	579	610	610	701
Des tourillons de l'arbre de commande des tiroirs	5.1	5.7	6.3	6.3	6.7	5.7	7.0	7.0	7.6	8.3	8.3	8.9	9.5	9.5
Longueur de la course :														
Du piston du cylindre	61.0	76.2	76.2	83.8	91.4	91.4	107	122	132	142	152	160	168	183
Du piston de la pompe à air	30.5	38.1	38.1	41.9	45.7	45.7	53.3	61.0	66.0	71.1	76.2	80.0	83.8	91.4
Du piston plongeur de la pompe alimentaire	15.2	19.0	19.0	20.3	22.9	22.9	26.7	30.5	33.0	35.6	38.1	40.6	41.9	45.7

Colonnes de support.														
Diamètre en haut.	10.2	12.1	13.0	14.0	15.2	17.8	20.3	21.0	23.2	23.5	24.1	25.4	26.0	26.7
Diamètre en bas	11.4	14.0	15.9	16.2	17.1	19.7	22.9	23.8	26.7	27.3	27.9	29.2	29.9	30.5
Distance de centre à centre :														
Des bielles latérales de la pompe à air.	74.9	87.0	95.0	100	107	121	135	142	154	160	170	174	178	183
Des balanciers (du même cylindre).	83.8	99.0	108	114	122	137	152	160	175	175	183	198	203	211
Des deux flasques du châssis.	53.3	58.4	64.8	66.0	68.6	76.2	86.4	86.4	102	102	107	112	114	117
Des cylindres des deux machines.	168	183	193	203	213	224	244	254	274	274	284	320	325	330
Lumières à vapeur														
Largeur.	19.0	22.2	25.4	27.9	29.2	33.0	38.1	47.0	47.0	48.3	48.3	50.8	50.8	53.3
Hauteur.	3.8	4.4	5.1	5.7	6.3	7.0	7.6	7.6	10.2	10.8	10.8	11.4	12.1	12.1
Soupape à clapet du fond.														
Hauteur	5.1	5.1	6.3	6.3	8.3	9.5	10.2	11.4	12.7	14.0	14.0	15.2	16.5	17.8
Longueur	33.0	35.6	39.4	43.2	45.7	50.8	61.0	66.0	71.1	73.7	73.7	78.7	78.7	81.3
Balancier.														
Largeur au milieu	35.6	45.7	48.3	53.3	58.4	63.5	71.1	73.7	83.8	84.6	88.9	91.4	96.5	99.1
Id. aux extrémités	38.1	15.2	17.1	19.0	20.3	22.2	25.4	26.7	30.5	31.1	32.4	35.6	38.1	39.4
Épaisseur	2.5	2.9	2.9	3.5	3.8	4.4	4.8	5.1	5.7	6.0	6.3	6.3	6.3	6.7

432. *Tableau* des formules donnant les dimensions des parties principales des machines à vapeur pour la navigation, d'après l'*Artizan-Club* (431).

Dans toutes les formules suivantes, les pressions sont exprimées en kilogrammes par centimètre carré, et les dimensions en centimètres.

p excès maxima de pression de la vapeur dans la chaudière sur l'atmosphère;
P pression par centimètre carré du piston;
D diamètre du cylindre;
R rayon de la manivelle ou moitié de la course du piston;
n force de la machine en chevaux.

On suppose un vide parfait derrière le piston, et la pression dans le cylindre égale à celle dans la chaudière; de sorte qu'on a

$$P = p + 1{,}033. \qquad (292)$$

Pour les machines de mer, les ruptures de pièces étant plus dangereuses et plus difficiles à réparer que pour les machines de terre, on multiplie P par un certain coefficient de sécurité k pour les premières machines, et seulement p pour les secondes; ainsi, dans les formules suivantes, on a

$$P = k(p + 1{,}033) \text{ pour les machines de mer,}$$
$$P = k \times p + 1{,}033 \text{ pour les machines de terre.}$$

k est compris entre 1,5 et 2, ce dernier chiffre étant un maximum.

(*Int.*, n° 179 et suivants, pour la signification des exposants fractionnaires.)

TOURILLON DE L'ARBRE DES ROUES A PALES.

Diamètre du tourillon. . . . . $0{,}49723\,(R \times P \times D^2)^{\frac{1}{3}}$

Longueur ou portée du tourillon, δ étant son diamètre. . . . . $\left(1 + \frac{1}{4}\right)\delta$

MANIVELLE.

Diamètre extérieur et longueur du moyeu d'assemblage avec l'arbre,

d étant le diamètre de cet arbre. $d + \left(\frac{D[P \times 3{,}443 \times R^2 + 0{,}16433 \times D^2 \times P^2]^{\frac{1}{2}}}{64{,}97\sqrt{R}}\right)^{\frac{1}{2}}$

Diamètre extérieur de l'œil de la tête, δ étant le diamètre du bouton. . . . . $\delta + 0{,}0955 \times \sqrt{P} \times \delta$

Longueur ou portée du même œil. . . . . $0{,}1424 \times \sqrt{P} \times \delta$

Épaisseur qu'aurait le corps de la manivelle au centre de l'arbre. . . . . $\left(\frac{D^2 \times P \times \sqrt{1{,}561 \times R^2 + 0{,}0704 \times D^2 \times P}}{632{,}7}\right)^{\frac{1}{3}}$

La largeur au même point serait égale au double de l'épaisseur.

Épaisseur du corps de la manivelle au centre du bouton. . . . . . $0{,}083 \times \sqrt{P} \times D$

La largeur au même point serait égale à 1,5 fois l'épaisseur.

TRAVERSE DE LA TIGE DU PISTON.

Longueur. . . . . $1{,}1 \times$

ımètre extérieur du renflement ou de la douille d'assemblage, δ étant le diamètre intérieur.	$\delta + 0{,}06844 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
uteur de la douille.	$0{,}237 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ımètre du tourillon.	$0{,}06474 \times \sqrt{P} \times D$
ı longueur du tourillon est égale aux $\frac{9}{8}$ du diamètre.	
ɔaisseur de la traverse en son milieu.	$0{,}0593 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ıuteur au même point.	$0{,}2222 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
aisseur de la traverse près du tourillon.	$0{,}046 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ıuteur aux mêmes points.	$0{,}0766 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$

TIGE DU PISTON.

ımètre.	$\frac{P^{\frac{1}{2}} \times D}{14}$
ngueur de la partie comprise dans le piston.	$0{,}15 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ımètre maximum de la partie comprise dans la traverse. .	$0{,}072 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ımètre minimum de la même partie.	$0{,}068 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ımètre maximum de la partie conique comprise dans le piston.	$0{,}106 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ımètre minimum de la même partie.	$0{,}087 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
rgeur de la clavette et des contre-clavettes d'assemblage de la tige avec la traverse.	$0{,}0867 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ıaisseur des mêmes pièces.	$0{,}017 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ırgeur de la clavette d'assemblage avec le piston.	$0{,}064 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
paisseur de la même clavette.	$0{,}026 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$

BIELLE PRINCIPALE.

ımètre de la bielle à ses extrémités.	$0{,}072 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ımètre de la bielle en son milieu, l étant la longueur de la bielle.	$(1 + 0{,}0035 \times l)\, 0{,}072 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ımètre maximum de la partie comprise dans la traverse.	$0{,}074 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ımètre minimum de la même partie.	$0{,}068 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
ırgeur de la tête prise dans la chape.	$0{,}1184 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
paisseur de la même partie.	$0{,}094 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
paiss. moyenne de la chape au point de serrage de la clavette.	$0{,}03222 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
paisseur moyenne au-dessus de la clavette.	$0{,}02392 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$
istance entre la clavette et l'extrémité de la chape. . .	$0{,}0366 \times P^{\frac{1}{2}} \times D$

Largeur de la clavette et des contre-clavettes au point d'assemblage avec la traverse. . . . . $0,0666 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Largeur des mêmes pièces au point d'assemblage de la tête avec la chape. . . . . $0,083 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Épaiss. commune des clavettes et contre-clavettes de la bielle. $0,02128 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

BIELLES LATÉRALES OU BIELLES PENDANTES POUR LE CYLINDRE A VAPEUR.

(Pour les bielles pendantes de la pompe à air, on se sert des mêmes formules; seulement on remplace D par le diamètre de la pompe à air.)

Diamèt. des bielles pendantes de la traverse, aux extrémités. $0,0487 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Diamètre au milieu (l longueur de la bielle). . . . $(1 + 0,0035 \times l) 0,0487 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Largeur de la tête prise dans la chape. . . . . $0,0581 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Épaisseur de la même pièce. . . . . $0,046 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Diamètre du tourillon de la traverse qui porte la bielle. . . $0,06475 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

La longueur de ce tourillon est égale aux $\frac{9}{8}$ du diamètre.

Diamètre du tourillon au bas de la bielle. . . . . $0,053 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Portée du même tourillon. . . . . $0,0573 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Épaiss. moyenne de la chape au point de serrage de la clavette. $0,02426 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Épaisseur moyenne au-dessous de la clavette. . . . . . . $0,0177 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Largeur de la clavette et des contre-clavettes. . . . . $0,06 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

Épaisseur des mêmes pièces. . . . . $0,0425 \times P^{\frac{1}{2}} \times$

TOURILLON DE L'AXE PRINCIPAL DU BALANCIER.

Diamètre du tourillon. . . . . $0,1385 \times P^{\frac{1}{2}} \times$
La longueur du tourillon est égale à 1,5 fois le diamètre.

LUMIÈRES DE DISTRIBUTION DE LA VAPEUR.

Aire des lumières en centimètres carrés. . . . . $\frac{2,2 \times n \times D^2 \ldots}{5486,4}$

TUYAUX DE DISTRIBUTION DE LA VAPEUR.

Diamètre de chaque tuyau. . . . . $(0,000326 \times n \times D^2 + 6,7 \ldots$

POMPE ALIMENTAIRE.

Capacité en centimètres cubes. . . . . $\frac{n \times \ldots}{14\ldots}$

SOUPAPES DE SURETÉ.

Diamètre lorsqu'il y a une seule soupape. . . . . $(3,2 \times n + 113,\ldots$

Idem deux soupapes. . . . . $(1,59 \times n + 72,8\ldots$

y a trois soupapes	$(1,077 \times n + 48,38)^{\frac{1}{2}}$
quatre soupapes.	$(0,79 \times n + 36,28)^{\frac{1}{2}}$

LEVIER DE TRANSMISSION DE MOUVEMENT AU BALANCIER.

axes extrêmes du balancier.	$0,074 \times D$
œil.	$0,052 \times D$
ou tourillons extrêmes.	$0,07 \times D$
tourillons.	$0,076 \times D$
pour la pompe à air.	$0,045 \times D$
axes.	$0,049 \times D$
er au centre de rotation, l étant la longueur du ba- en fonte.	$(0,06184 \times l \times D^2)^{\frac{1}{3}}$

POMPE A AIR.

de pompe.	$0,6 \times D$

TRAVERSE DE LA TIGE DE LA POMPE A AIR.

d'assemblage avec la tige.	$0,25 \times D$
œil.	$0,171 \times D$
illons extrêmes.	$0,051 \times D$
tourillons.	$0,058 \times D$
verse en son milieu.	$0,043 \times D$
rse au même point	$0,161 \times D$
averse près des tourillons.	$0,037 \times D$
verse aux mêmes points extrêmes.	$0,061 \times D$

TIGE DU PISTON DE LA POMPE A AIR.

. . . .	$0,067 \times D$
ette et des contre-clavettes à la traverse.	$0,063 \times D$
nes pièces.	$0,013 \times D$
ette d'assemblage avec le piston.	$0,051 \times D$
ême clavette.	$0,021 \times D$

LATÉRALES OU BIELLES PENDANTES DE LA POMPE A AIR.

es aux extrémités.	$0,039 \times D$
prise dans la chape.	$0,046 \times D$
ême partie.	$0,037 \times D$
e de la chape au point de serrage de la clavette. . . .	$0,019 \times D$
au-dessous de la clavette.	$0,014 \times D$
vette et des contre-clavettes.	$0,048 \times D$
nes pièces.	$0,01 \times D$

TUYAUX DE CONDUITE ET DE DÉCHARGE.

de trop plein de l'eau de condensation.	$3,05 \times (n)^{\frac{1}{2}}$
ar le clapet d'aspiration de la pompe à res carrés.	$11,6 \times n + 51,6$
njection en centimètres carrés. . . .	$0,445 \times n + 18,13$
d'alimentation.	$(0,26 \times n + 19,35)^{\frac{1}{2}}$
u de décharge de la vapeur.	$(2,419 \times n + 108,871)^{\frac{1}{2}}$

433. *Chaudières de bateaux à vapeur.* Ces chaudières sont formées d'un seul corps ou de plusieurs corps indépendants les uns des autres, et chauffés chacun par un ou plusieurs foyers spéciaux dont la fumée se dégage par une cheminée qui est ordinairement unique pour tout le générateur. Elles se divisent en trois espèces principales :

1° *Les chaudières à conduits intérieurs et à face planes, dites à basse pression.* Ce sont les plus anciennes et encore les plus répandues aujourd'hui. A partir des foyers, qui sont intérieurs, les carneaux circulent dans toute la masse d'eau et vont se réunir à une certaine distance, pour de là aller déboucher dans la cheminée qui est située à l'autre extrémité de la chaudière par rapport aux foyers. L'épaisseur d'eau entre les foyers, les circuits de fumée et les parois extérieures latérales et inférieures de la chaudière n'est que de 0m,10 environ ; l'eau ne recouvre le dessus des foyers et circuits que de 0m,25. La hauteur des carneaux est égale à celle de l'eau diminuée de 0m,30, et leur largeur doit être de 0m,40 au moins, afin qu'un homme puisse y passer pour les visiter et les nettoyer. De la section d'un carneau et du poids total de combustible à brûler dépend le nombre des foyers, qui est égal à celui des carneaux.

Toutes les parois sont planes, excepté le dessus de la chaudière, qui est légèrement bombé afin qu'il résiste à la pression de la vapeur. Chaque face plane, tant extérieure qu'intérieure, est reliée à la voisine, qui lui est parallèle, par des entretoises vissées et rivées qui traversent l'eau. Ce n'est que dans un cas fortuit que parfois la pression de la vapeur est portée jusqu'à 1 atm. 1/2, pression-limite jusqu'à laquelle l'ordonnance de 1843 ne prescrit pas l'épreuve à la presse hydraulique (436); mais il est prudent de ne pas dépasser 1 atm. 1/4.

2° *Les chaudières tubulaires, dites à moyenne pression.* Ces chaudières, qui paraissent devoir remplacer toutes les autres, peuvent être essayées à la presse hydraulique pour fonctionner à la pression de 3 atm.; la pression dans le cylindre est habituellement de 2,5 atm. Du reste, à une grande pression, les dépôts d'eau de mer prennent une consistance qui rend leur enlèvement difficile. Le grand avantage de ces chaudières, c'est de peser beaucoup moins que les autres, vides ou pleines, à surface de chauffe égale; de plus, elles occupent moins de place, et permettent une détente beaucoup plus grande que celles à faces planes. Ces chaudières sont adoptées aujourd'hui pour tous les nouveaux bâtiments de l'État et pour les anciens qui ont des rechanges à subir. Des tirants en fer convenablement disposés dans l'intérieur de la chaudière empêchent les parois planes de se déformer.

Les foyers sont placés dans des espaces rectangulaires à ciel en arc de cercle et à angles très-arrondis; ils sont entourés d'une couche

au de 0m,10 d'épaisseur environ. Les grilles s'étendent jusque vers fond de la chaudière. La flamme, arrivée au fond, s'élève par la mbre à combustion des gaz, qui est complétement entourée d'eau, revient en avant par un grand nombre de tubes ; là se trouve la te à fumée, qui communique avec la cheminée commune à tous foyers et placée sur le devant du fourneau.

Pour les grands bateaux à vapeur, l'appareil de vaporisation se npose encore d'un certain nombre de corps de chaudières placés uns à côté des autres. Tous les réservoirs de vapeur communint entre eux par des tuyaux munis de robinets qui permettent de pendre à volonté le service d'une ou de plusieurs chaudières. te division de l'appareil générateur facilite l'installation à bord et pêche qu'un accident arrivé à l'un des corps arrête complétement narche de la machine.

n France, chaque corps de chaudière correspond à une force de chevaux au maximum, et il porte plusieurs foyers de chacun 25) chevaux environ. Pour le vaisseau *la Bretagne*, dont les manes sont d'une force nominale de 1200 chevaux, mais qui peuvent lement produire une force double, les corps de chaudière sont nombre de 8, et il y a 40 foyers.

a largeur des grilles est de 0m,80 environ, et il convient que leur gueur ne dépasse pas 2 mètres; à cette limite leur chargement unine est déjà difficile, malgré la précaution que l'on prend de les liner beaucoup de l'avant vers l'arrière.

es tubes sont en laiton, quelquefois en fer; leur diamètre extéir varie de 0m,075 à 0m,085; leur longueur, qui varie de 1m,50 à 20, est ordinairement de 2 mètres; leur épaisseur est de 3 millim.; r nombre varie habituellement de 60 à 80 par foyer. Les plaques tôle dans lesquelles les extrémités des tubes sont rivées, ou baées à l'aide de viroles en fer de 0m,03 à 0m,04 de longueur et légènent coniques, ont de 0m,016 à 0m,020 d'épaisseur. Les viroles ont convénient de réduire la section des tubes et de rendre le netage plus difficile; aussi, quand les tubes sont assez épais, se conte-t-on de mater et de mandriner leurs extrémités; les tubes ne faible épaisseur et les vieux tubes doivent être bagués.

'eau de mer contient 0,03 de sel, et on a reconnu que pour éviter te incrustation dangereuse, cette proportion ne devait pas dépasser 9 dans la chaudière; il conviendrait, pour plus de sécurité, de ne aller au delà de 0,06. Cela oblige de faire écouler dans la mer, es intervalles assez rapprochés, ou d'une manière continue, une tie de l'eau de la chaudière; ce qui occasionne une perte de char. Un pèse-sel permet de vérifier à volonté le degré de saturation, le régler en conséquence l'évacuation.

° *Les chaudières cylindriques à deux bouilleurs, dites à haute pres-*

sion, ont quelquefois été employées ; elles permettent d'éviter le condenseur, ce qui peut être avantageux dans quelques circonstances, surtout pour les petites machines. Les circuits de la fumée sont séparés entre eux par des murettes en briques, et les enveloppes extérieures sont en tôle garnie intérieurement d'un carrelage. Les chaudières communiquent entre elles soit par des tubes latéraux placés vers leur partie inférieure, soit par des tubes qui relient un bouilleur au bouilleur de la chaudière voisine. M. Cochot, pour empêcher les bouilleurs de se brûler, a imaginé d'établir une communication entre le dessus des bouilleurs et le dessus des chaudières, à l'aide de tubes placés à l'avant et en dehors du fourneau ; la vapeur qui se forme dans les bouilleurs s'écoule ainsi très-facilement, et n'empêche pas le contact de l'eau avec la tôle.

454. *TABLEAU des proportions des générateurs à parois* [illegible] *à l'exception du Sphinx*, qui a été construit par M. Fawcett, et du *Transatlantique*, qui sort de l'ancienne usine d'Arras, tous les autres sont de MM. Maudslay et Field.

	NOMS DES BATEAUX.										
	St-Pierre.	Liamone.	Rapide.	Africain.	Héva.	Castor.	Sphinx.	Eurotas.	Ténare.	Médéa.	Trans-atlantique.
Force en chevaux	12	50	80	90	100	120	160	160	180	220	450
Longueur de la chaudière	2m.74	3m.165	5m.690	»	»	6m.120	6m.400	6m.650	6m.590	7m.130	12m.000
Largeur de la chaudière	2 .080	4 .06	3 .735	»	»	4 .71	5 .975	5 .040	5 .540	6 .260	7 .60
Hauteur de la chaudière au milieu, non compris le coffre à vapeur	1 .600	2 .130	2 .100	»	»	2 .760	2 .890	2 .680	2 .750	3 .250	2 .90
Volume total de la chaudière	8 .91	30 .66	45 .51	51m.15	»	75 .29	106 .66	84 .25	97 .56	131 .70	247 .05
Volume d'eau contenu dans la chaudière	2 .538	7 .534	15 .177	19 .82	»	30 .118	33 .212	32 .868	38 .650	50 .996	80 .914
Volume de vapeur contenu dans la chaudière, y compris les coffres	2 .140	11 .478	10 .144	12 .17	»	12 .080	28 .162	15 .924	18 .718	47 .768	77 .835
Surface de chauffe totale	20 .324	63 .166	96 .802	96 .28	83m.00	152 .832	194 .128	147 .964	169 .228	233 .102	419 .412
Id. par cheval	1 .694	1 .263	1 .210	1 .07	0 .83	1 .274	1 .213	0 .925	0 .940	1 .060	0. 932
Nombre de corps de chaudière indépendants pour la production de la vapeur	2	2	1	2	»	2	1	2	2	2	4
Nombre de foyers	2	2	4	4	2	4	6	6	6	6	16
Surface des grilles	1m.008	2m.702	5m.204	5m.32	8m.00	6m.480	9m.776	7m.488	8m.818	10m.408	22m.040
Diamètre de la cheminée	0 .46	0 .62	0 .78	0 .86	0 .88	1 .067	1 .217	1 .05	1 .067	1 .18	2 .00
Section des carneaux en mètres carrés	0 .52	0 .80	0 .55	1 .14	0 .80	1 .38	1 .40	1 .18	1 .92	2 .88	5 .92
Hauteur de la cheminée au-dessus du dôme, non compris le couronnement	5 .00	9 .15	12 .95	»	»	12 .20	14 .60	11 .20	11 .20	11 .50	11 .00
Hauteur totale de la cheminée	6 .60	11 .28	15 .16	»	»	14 .96	17 .49	13 .88	13 .95	14 .75	13 .90

De ce tableau, il résulte les valeurs limites et moyennes suivantes, par force de cheval, des chaudières à parois planes et à conduits intérieurs.

PARTIES DES CHAUDIÈRES.		FORCES DES APPAREILS.		
		Petites.	Moyennes.	Grandes
Surfaces des grilles,	en mètres carrés.	0.085	0.065	0.045
Surfaces de chauffe,	*id.*	1.700	1.300	0.900
Sections totales des carneaux,	*id.*	0.044	0 030	0.013
Sections des cheminées,	*id.*	0.015	0 011	0.007
Volumes des chaudières	en mètres cubes.	0.750	0.650	0.550
Volumes de l'eau,	*id.*	0.220	0.190	0.160
Volumes de la vapeur,	*id.*	0.180	0.150	0.130
Volumes des foyers et carneaux,	*id.*	0.350	0.310	0.270

TABLEAU des surfaces de chauffe et des volumes totaux des chaudières à parois planes et à conduits intérieurs par cheval, auxquels s'est arrêté M. Jullien.

FORCES en chevaux.	SURFACE de chauffe.	VOLUMES des chaudières.	FORCES en chevaux.	SURFACE de chauffe.	VOLUMES des chaudières.	FORCES en chevaux.	SURFACE de chauffe.	VOLUMES des chaudières.
	m. carr.	m. cub.		m. carr.	m. cub.		m. carr.	m. cub.
12	1.50	0.72	80	1.26	0.64	400	1.02	0.56
18	1.47	0.71	100	1.23	0.63	500	0.99	0.55
24	1.44	0.70	120	1.20	0.62	600	0.96	0.54
32	1.41	0.69	150	1.17	0.61	700	0.93	0.53
40	1.38	0.68	200	1.14	0.60	800	0.90	0.52
50	1.35	0.67	250	1.11	0.59	900	0.87	0.51
60	1.32	0.66	300	1.08	0.58	1000	0.84	0.50
70	1.29	0.65	350	1.05	0.57			

EXTRAIT DE L'ORDONNANCE DU 23 MAI 1843 *relative aux bateaux à vapeur qui naviguent sur les fleuves et rivières* (335).

438. *Autorisation de navigation.* Aucun bateau à vapeur ne pourra naviguer sur les fleuves et rivières sans un permis de navigation. La demande de ce permis est adressée par le propriétaire du bateau au préfet du département où se trouve le point de départ. Dans cette demande le propriétaire fait connaître :

1° Le nom du bateau;

2° Ses principales dimensions, son tirant d'eau à vide (448), et sa charge maxi[mum] exprimée en tonneaux de 1000 kilogrammes;

3° La force de l'appareil moteur, exprimée en chevaux-vapeur (36);

luée en atmosphères et fraction décimale d'atmosphère, sous la-
eil fonctionnera;
haudière, le service auquel le bateau est destiné, et les points de
tionnement et d'arrivée;
mum des passagers qui pourront être reçus dans le bateau.
métrique de la chaudière est joint à la demande.

de permis est envoyée par le préfet à la commission
instituée dans le département, et de laquelle les in-
nes et des ponts et chaussées font partie. Cette com-
bateau, afin de s'assurer s'il offre toutes les garanties
'il n'offre aucun danger d'explosion ou d'incendie.
te, la commission assiste à un essai du bateau à va-
ssurer si le moteur a une force suffisante pour le
l est destiné. Elle constate la hauteur des eaux lors
ant d'eau, la vitesse du bateau en montant et en des-
ers degrés de tension de la vapeur dans la chaudière
che du bateau. La commission dresse procès-verbal
son essai, en proposant les conditions auxquelles le
e délivré, ou en exposant les motifs pour lesquels elle
nvenable de surseoir à la délivrance du permis ou
user. D'après le procès-verbal de la commission, le
délivre le permis, qui contient toutes les mesures
ûreté. Ce permis n'est valable que pour un an, et à
llement la commission est consultée.

été muni de son appareil moteur et mis en état de
in département autre que celui où il doit entrer en
riétaire doit obtenir du préfet du premier de ces dé-
autorisation provisoire de navigation pour faire ar-
au lieu de sa destination. La commission de surveil-
ltée sur la demande. L'autorisation provisoire ne
propriétaire du bateau de l'obligation d'obtenir un
de navigation lorsque ce bateau est arrivé au lieu de

s des chaudières à vapeur. Épaisseur de ces chaudières.
peut livrer aucune machine à vapeur sans qu'elle ait
es prescrites ci-après :
es à vapeur, leurs tubes bouilleurs et les réservoirs à
ndres en fonte des machines à vapeur et les enveloppes
cylindres ne peuvent être établis à bord des bateaux,
réalablement soumis par les ingénieurs des mines, ou,
ar les ingénieurs des ponts et chaussées, à une pres-
pression effective $n-1$ de la vapeur dans la chaudière
euve s'opère, comme pour les machines fixes, à l'aide
pression (337).

Les chaudières qui ont des faces planes sont dispensées de l'épreuve, mais sous la condition que la force élastique de la vapeur ne s'élève pas dans la chaudière à plus d'une atmosphère et demie (433).

Ces épreuves sont faites à la fabrique, par ordre du préfet, sur la déclaration du fabricant. Elles sont renouvelées après l'installation dans les mêmes circonstances que pour les machines fixes (337), et pendant la marche, si la commission de surveillance le juge à propos, ou si les chaudières ou autres pièces ont subi des changements notables (les propriétaires sont tenus de donner connaissance de ces changements au préfet).

Les machines venant de l'étranger sont pourvues des mêmes appareils de sûreté que les machines d'origine française, et subissent les mêmes épreuves. Ces épreuves sont faites au lieu désigné par le destinataire dans la déclaration qu'il doit faire à l'importation.

L'usage des chaudières et des tubes bouilleurs en fonte est prohibé sur les bateaux.

L'épaisseur des chaudières cylindriques en tôle ou en cuivre laminé se règle comme pour les chaudières fixes (336).

Les chaudières, tubes bouilleurs, réservoirs à vapeur, et les cylindres en fonte ainsi que leurs enveloppes en fonte doivent, comme pour les machines fixes, porter un timbre apparent indiquant la pression absolue *n* de la vapeur dans la chaudière (336).

437. *Soupapes de sûreté.* Chaque chaudière porte deux soupapes disposées et chargées comme pour les machines fixes. Leur diamètre et l'épaisseur de leur rebord se règlent également comme au n° 3...

Il est de plus adapté à la partie supérieure des chaudières à faces planes, une soupape atmosphérique, c'est-à-dire une soupape s'ouvrant du dehors au dedans, appelée *reniflard*.

Les propriétaires de bateaux à vapeur sont tenus d'adapter aux machines et chaudières employées dans ces bateaux les appareils de sûreté qui pourraient être découverts par la suite, et qui seraient prescrits par des règlements d'administration publique.

438. *Manomètres.* Toute chaudière à vapeur est munie d'un manomètre gradué et disposé comme pour les machines fixes (340).

Le manomètre à air libre n'est exigé que pour des pressions effectives ne dépassant pas 2 atmosphères (au-dessus de cette limite il devient embarrassant de le disposer sur le bateau).

439. *Alimentation des chaudières à vapeur, et indicateurs du niveau de l'eau dans les chaudières.* Chaque chaudière est munie d'une pompe alimentaire bien construite et en bon état d'entretien. Indépendamment de cette pompe, mise en mouvement par la machine motrice du bateau, chaque chaudière est pourvue d'une autre pompe pouvant fonctionner, soit à l'aide d'une machine particulière, soit à la

estinée à alimenter la chaudière, s'il en est besoin, hine motrice du bateau ne fonctionne pas (341).

bituel de l'eau dans la chaudière est le même que pour ixes (341), et il est également indiqué à l'extérieur par rente.

à chaque chaudière : 1° deux tubes indicateurs en placés un à chaque côté de la face antérieure de la un des deux appareils suivants, savoir : un flotteur uffisante; des robinets indicateurs, convenablement eaux différents. Les appareils indicateurs sont, dans posés de manière à être en vue du chauffeur.

haudières sont établies dans un bateau, elles ne peu- en communication que par les parties toujours occu- eur, et cette communication est disposée de manière eres puissent, au besoin, être rendues indépendantes res. Dans tous les cas, chaque chaudière est alimentée nunie de tous les appareils de sûreté.

ement des appareils moteurs. Cet emplacement doit d pour qu'on puisse faire le service des chaudières et es parties des appareils. Cet emplacement est séparé assagers par des cloisons en planches très-solidement ntièrement revêtues d'une doublure en tôle, à recou- millimètre d'épaisseur au moins.

tallation des bateaux à vapeur, des agrès, des appa- pages. Le pont est garni de garde-corps d'une hauteur la sûreté des voyageurs; toutes les ouvertures pra- us des machines et des chaudières, qui ne sont pas fermées par un panneau plein, sont munies d'un gril- en bois.

ôté du bateau se trouve placé un escalier d'embarque- u en fer), avec une rampe ou une corde à nœuds soli-

s qui, de chaque côté du bateau, enveloppent les roues munis d'une défense en fer, descendant assez près de eau pour empêcher les embarcations de s'engager dans s roues.

heminée est mobile, et qu'elle ne se trouve pas dispo- e à être en équilibre sur son axe de rotation dans toutes il est établi, sur le pont du bateau, un support suffi- pour arrêter la cheminée en cas de chute, et prévenir

flottaison indiquant le maximum du chargement est nanière apparente sur le pourtour entier de la carène, nts de repère déterminés par le permis de navigation.

Le nom du bateau est inscrit en gros caractères sur chacun de ses côtés.

Dans chaque bateau se trouvent :

1° Deux ancres au moins pouvant être jetées immédiatement ;
2° Un canot à la traîne ou suspendu à des palans, de manière à pouvoir être au besoin mis immédiatement à l'eau. Les dimensions de ce canot sont déterminées par le préfet, d'après l'avis de la commission de surveillance ;
3° Une bouée de sauvetage en liége, suspendue sous l'arrière ;
4° Une hache en bon état, à portée du timonier ;
5° Une cloche pour donner les avertissements nécessaires ;
6° Une boîte fumigatoire pour administrer des secours aux asphyxiés ;
7° Des manomètres de rechange, ainsi que des tubes indicateurs de rechange.

Si le bateau est exposé à être poussé accidentellement à la mer, il est muni des cartes et des instruments nautiques nécessaires à cette navigation.

Indépendamment du capitaine, maître ou timonier, et des matelots ou mariniers formant l'équipage, il y a à bord de chaque bateau un mécanicien et autant de chauffeurs que l'appareil moteur l'exige.

Nul ne peut être employé en qualité de capitaine ou de mécanicien, s'il ne produit des certificats de capacité délivrés dans les formes déterminées par notre ministre des travaux publics.

442. *Mesures diverses concernant le service des bateaux à vapeur.* Dans toutes les localités où cela est possible, il est assigné à chaque bateau à vapeur, un lieu de stationnement distinct de celui des autres bateaux. En cas de concurrence, les heures de départ sont réglées par le préfet.

Aucun bateau à vapeur ne doit quitter le point de départ et les lieux de stationnement pendant la nuit, ni en temps de brouillard, de glaces ou de débordements, à moins d'une permission spéciale délivrée par l'autorité chargée de la police locale. Tout bateau à vapeur naviguant pendant la nuit tient constamment allumés deux fanaux placés, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière. Ces deux fanaux sont à verres blancs lorsque le bateau descend, et à verres rouges lorsqu'il remonte. En cas de brouillard, le capitaine fait tinter continuellement la cloche du bateau pour éviter les abordages.

Si deux bateaux à vapeur, marchant en sens inverse, viennent à se rencontrer, le bateau descendant ralentit son mouvement, et chaque bateau serre le chenal de navigation à sa droite. Si les dimensions du chenal sont telles qu'il ne reste pas entre les parties les plus saillantes des bateaux un intervalle libre de 4 mètres au moins, le bateau qui remonte s'arrête et attend, pour reprendre sa route, que celui qui descend ait doublé le passage. Dans les rivières à marée, le bateau qui vient avec le flot est censé descendre.

Si la rencontre a lieu entre deux bateaux à vapeur marchant dans

on, celui qui est en avant serre le chenal de navigation
ui qui est derrière, le chenal à sa gauche.
sions du chenal ne permettent pas le passage de deux
au qui est en arrière ralentit son mouvement, et attend
it passée pour reprendre toute sa vitesse. Des arrêtés
nent les passes où il est interdit aux bateaux à vapeur
u de se dépasser.

s des bateaux à vapeur peuvent prendre ou déposer en
eurs ou des marchandises, qui sont transportés dans
ais ils doivent faire arrêter l'appareil moteur du bateau,
elets puissent accoster sans danger. Ces batelets, avant
amarrés au bateau à vapeur, et celui-ci ne doit con-
gation que lorsqu'ils ont été poussés au large.

localité, un arrêté du préfet détermine les conditions
e stabilité des batelets destinés au service d'embarque-
rquement des passagers, le nombre des personnes que
uvent recevoir, et le nombre des mariniers nécessaires
ire. Le maire de la commune délivre les permis de ser-
e préalablement assuré que les batelets sont conformes
s de sûreté prescrites, et que les mariniers remplissent
exigées par l'art. 47 de la loi du 6 frimaire an VII; c'est-
mariniers doivent être munis de certificats des com-
s de la marine dans les lieux où ces sortes d'emplois
de l'attestation de quatre anciens mariniers conduc-
devant l'administration municipale dans les autres

s où le service des batelets serait dangereux, les préfets
erdire l'usage.

te du feu et des appareils moteurs. Le mécanicien, sous
apitaine, préside à la mise en feu avant le départ;
utes les parties de l'appareil moteur; il s'assure qu'elles
ien et que les chauffeurs sont en état de bien faire leur
nt le voyage, il dirige les chauffeurs et s'occupe con-
a conduite de la machine.

à bord de chaque bateau, un registre dont toutes les
ées et parafées par le maire de la commune où est le
eprise, et sur lequel le mécanicien inscrit d'heure en

manomètre;
'eau dans la chaudière, relativement à la ligne d'eau (439);
trouve le bateau;

haque voyage, le mécanicien signe ces indications dont il certifie

Il est défendu aux propriétaires de bateaux à vapeur et à leurs agents de faire fonctionner les appareils moteurs sous une pression supérieure à celle déterminée dans le permis de navigation, et de rien faire qui puisse détruire ou diminuer l'efficacité des moyens de sûreté dont ces appareils sont pourvus.

444. *Dispositions relatives aux passagers*. Il est défendu de laisser aucun passager s'introduire dans l'emplacement de l'appareil moteur.

Indépendamment du registre du mécanicien (443), il est ouvert dans chaque bateau à vapeur un autre registre dont toutes les pages sont cotées et parafées de la même manière, et sur lequel les passagers ont la faculté de consigner leurs observations, en ce qui peut concerner le départ, la marche et la manœuvre du bateau, les avaries ou accidents quelconques, et la conduite de l'équipage : ces observations doivent être signées par les passagers qui les font. Le capitaine peut également consigner sur ce registre les observations qu'il jugerait convenable, ainsi que tous les faits qu'il lui paraîtrait important de faire attester par les passagers.

Dans chaque salle où se tiennent les passagers, il est affiché une copie du permis de navigation et un tableau indiquant :

1° La durée moyenne des voyages, tant en montant qu'en descendant, et eu égard à la hauteur des eaux;
2° La durée des stationnements;
3° Le nombre maximum des passagers;
4° La faculté qu'ils ont de consigner les observations sur le registre ouvert à cet effet;
5° Le tarif des places.

Les propriétaires de bateaux à vapeur sont tenus de recevoir et de transporter gratuitement les inspecteurs de la navigation, des rivières, ou autres agents qui seraient chargés spécialement de la police et de la surveillance de ces bateaux.

QUATRIÈME PARTIE.

Chemins de fer.

---

eil historique. C'est en 1650 qu'on a construit, aux
castle, pour le transport de la houille et du minerai,
gnes de rail-ways, mais les rails étaient en bois; vers
n fonte, et ce n'est qu'en 1805 que l'on commença à
malléable. Les wagons étaient remorqués par des
'est guère que depuis l'invention de la machine lo-
es chemins de fer ont commencé à croître en impor-
colas-Joseph Cugnot, né en 1725 à Void (Meuse), que
emiers essais tentés pour appliquer au mouvement
orce élastique de la vapeur. Vers 1770, cet ingénieur
etite voiture que faisait mouvoir la seule force de la

M. George Stephenson, né en 1781 aux environs de
yne, construit des machines locomotives; mais elles
que quatre lieues à l'heure. En 1826, M. Marc Sé-
nay en 1786, imagina la chaudière tubulaire, dont
roduisit, en 1828, le tirage par le jet de vapeur. De-
e, les locomotives exécutées, soit par ce dernier, soit
res constructeurs, ont marché avec une vitesse de
à 25 lieues à l'heure. Depuis 1828, on n'a guère ap-
otives que des perfectionnements de détails, mais
ndant une influence bien sensible, soit sur la régu-
he, soit sur l'économie du combustible.
s jusqu'à ce jour sur les chemins de fer atmosphéri-
nt pas d'espérer que, sauf quelques cas exceptionnels,
placera l'ancien, à moins qu'on n'y apporte de nou-
nnements.
des chemins de fer. Afin de diminuer le tirage des
célérer la vitesse de transport, on construit des che-

mins en pierre, en bois et en fer. Ces derniers, qui sont les plus importants, se divisent en chemins de fer de premier et de second ordre. Ceux de premier ordre sont les chemins de fer permanents que l'on construit aujourd'hui pour les grandes lignes de communication; ils sont destinés au transport, soit des marchandises, soit des voyageurs. Ceux de second ordre, par lesquels a commencé l'usage de ce genre de voies, ne sont que temporaires; on ne les établit guère que dans les usines ou dans les magasins, pour y faciliter le transport des matières premières et des produits fabriqués, ou des marchandises.

447. *Chemin de fer de service ou de second ordre.* Les chemins de fer de second ordre sont simplement formés de deux lignes de barres de fer plates de 4 mètres de longueur, placées de champ, et reposant sur des traverses en bois de 0m,15 à 0m,20 d'équarrissage. Les barres de fer sont fixées, à l'aide de coins en bois, dans des entailles que portent les traverses; l'écartement de ces traverses est de 1 mètre. Quelquefois les barres de fer sont carrées, et on les fixe sur les traverses en bois au moyen de clous ou de vis à tête noyée. Les barres de fer sont quelquefois posées à plat sur deux lignes de madriers en bois de 0m,15 à 0m,[illegible] d'équarrissage, sur lesquelles elles sont fixées de distance en distance par des clous ou des vis à tête fraisée. C'est sur ces deux lignes de barres de fer que roulent les roues des wagons. Ces chemins n'offrent jamais une grande solidité, aussi ne les construit-on que pour les communications de peu d'importance.

TABLEAU des dimensions moyennes de quelques rails de chemins de service.

DÉSIGNATION des CHEMINS.	DIMENSIONS des barres.		POIDS d'un chariot chargé.	DISTANCE des traverses.	OBSERVATIONS.
	verticales.	horizontales.			
	m	m	k	m	
Pont-canal de Digoin..	0.060	0.016	4000	1.00	
Pont-canal de l'Allier..	0.070	0.009	1400	1.00	
Pont de Roanne. . . .	0.070	0.015	1300	1.00	
Leeds et Selby.	0.030	0.030	2500	1.10	
Soccoa.	0.012	0.030	2900	. . .	Rails sur longrines de 0m.15 sur 0m.[illegible]
Travaux de Cherbourg.	0.030	0.050	6000	. . .	*Idem.* de 0m.20 sur 0m.[illegible]
Canal de Bourgogne. .	0.005	0.040	. . .	. . .	Rails sur longrines

Depuis quelques années, on construit des chemins économiques pour le transport des voyageurs à de petites distances; ces chemins ont pris naissance en Amérique, et on vient d'en établir plusieurs, dont un entre Paris et Versailles. Les rails sont creusés en gorge

ure, et cette gorge guide les rebords des roues. Les
s de longueur; ils pèsent 18k,60 à 20 kilog. le mètre
evilles les fixent sur des longrines reposant sur des
les joints des rails, on place des plaques en fer de
ur, 0m,042 de largeur et 0m,01 d'épaisseur. Ces voies
iveau du sol sur les bas côtés de la route. Les rampes
ent inférieures à 0m,01; mais pour franchir des pe-
0 à 30 mètres, elles atteignent parfois 0m,06 à 0m,08.
50 mètres de rayon et au-dessus. Les bois ont géné-
es de long, 0m,10 de large et 0m,15 de haut. Les axes
pacés de 1m,54. Ce chemin a coûté 27000 fr. le kilo-
vaux traînent une voiture contenant environ 50 per-
se de 15 à 16 kilomètres à l'heure (*Nouvelles An-*
ruction).

INS DE FER DE PREMIER ORDRE.

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

de la voie. (Les nombres qui suivent, sur l'établisse-
, sont en partie extraits de l'ouvrage de MM. Per-
eau, *Portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer.*)
Belgique, et ordinairement en Angleterre, pour le
ageurs, la distance d'axe en axe des deux files de rails
,51, ou de 1m,44 à 1m,46 entre les faces intérieures
chemin de Londres à Yarmouth, cette distance in-
m,52; sur le chemin de Dundee à Arbroath et d'Ar-
Écosse), elle est de 1m,68; sur les chemins d'Irlande
aint-Pétersbourg à Zarcoe-Selo, 1m,83; sur ceux de
sur le chemin de Londres à Bristol, où tout dépasse
aires, M. Brunel fils l'a portée à 2m,13; la vitesse ha-
lation y est de 12 à 15 lieues à l'heure, au lieu de 9 à
inairement sur les autres chemins. Pour les chemins
dopté la largeur de 1m,70. Un chemin économique,
d à Anvers, n'a que 1m,10 de largeur de voie; sur
machine locomotive avec son tender ne pèse que
entation de largeur de la voie permet d'augmenter
t la puissance des machines. Cependant, dans ces
on a, pour la largeur 1m,44, établi des machines qui
charge convenable à une vitesse qui atteint 80 kilo-
harge de 450 tonnes de poids utile à une petite vi-
ites de 0m,005.

449. *Entre-voie.* Sur la plupart des chemins fran l'entre-voie a 1m,80; sur le chemin de Londres à Birn 1m,92; sur celui de Bristol, 1m,87; sur les chemins sur celui de Lyon, 2m,20; sur celui de Bruxelles à Mon chemin de Versailles (rive gauche), la distance des diligences placées sur deux voies différentes est de 0m,8 oanger pour le voyageur qui passe la tête à la portièr des marchepieds est de 0m,45. Avec cet espacement de éviter de réduire la largeur 1m,80 de l'entre-voie, e colonnettes en fonte soutenant des ponts. Sur les n on adopte l'entre-voie de 2 mètres à 2m,20, ce qui per ter un peu la largeur des caisses.

450. *Accotements.* Sur les chemins anglais, la larg ments est, pour les terrains ordinaires, de 0m,50 plus g blai que dans les tranchées. Dans les terrains maréca contraire plus grande dans les tranchées que sur elle est de 3 mètres dans les tranchées et de 1m,50 remblai. Sur le chemin de Versailles (rive gauche comptée depuis la face extérieure du rail, est de 1m et de 0m,87 dans les tranchées; sur le chemin de B geur, comptée de l'extérieur du rail à la crête du rem du fossé, est, en terrain ordinaire, de 1m,45; sur le cl pool à Manchester, elle est de 1m,52; sur le chemin de mingham, de 2m,20, et sur les nouveaux chemins bel Mons), de 1m,75.

Dans les souterrains, et quelquefois dans les ouvra minue la largeur des accotements afin de réduire la s'écoule alors par un fossé ou aqueduc placé au milieu

L'administration des ponts et chaussées prescrit, de la face extérieure du rail à l'arête extérieure du c en déblai, en souterrain et sur les ponts, et 1m,50 en terrain.

451. *Fossés. Sentiers le long des barrières. Talus.* des fossés doivent être en rapport avec la quantité d' vent et à laquelle ils doivent donner un écoulement fa partie). Sur les chemins de l'Est, les dimensions ordin sont : 0m,60 de largeur en haut, 0m,20 au fond, et 0,20

Il suffit que les sentiers placés le long des barrièr de largeur entre le remblai et les barrières.

La compagnie doit acheter 2 ou 3 mètres de largeu delà des crêtes des tranchées; on y établit des fossés les eaux de descendre sur les talus.

Dans les grandes tranchées, on établissait, à une fai dessus du fossé, une petite banquette de 0m,30 de lar

nte pour retenir les petites pierres qui se détachaient
ne ces banquettes n'atteignaient qu'imparfaitement le
proposé, on les remplace aujourd'hui par une ban-
entre le ballast et le fossé, et qui sert de chemin pour
de dépôt pour la boue que l'on retire du fossé.
res qui se soutiennent sous un angle de 45°, mais
lent sous des angles faibles (cinquième partie).
re et hauteur des ponts. Quand le chemin devra passer
route impériale ou départementale, ou d'un chemin
es charges des principaux chemins français), l'ouver-
sera pas moins de 8 mètres pour la route impériale,
a route départementale, 5 mètres pour un chemin vi-
communication, et 4 mètres pour un chemin vicinal

us la clef, à partir de la chaussée de la route, sera de
ins. Pour les ponts en charpente, la hauteur sous
4^m,30 au moins. La largeur entre les parapets sera de
et la hauteur de ces parapets de 0^m,80 au moins.
re, le chemin de fer passe au-dessous d'une route im-
oute départementale, d'un chemin vicinal de grande
ou d'un simple chemin vicinal, la largeur minimum
ets du pont qui supportera ces différentes voies sera
de 8 mètres, 7 mètres, 5 mètres et 4 mètres.
u pont entre les culées sera au moins de 8 mètres, et
intrados, mesurée verticalement au-dessus des rails
era pas moins de 4^m,50.
minima était de 4^m,30, et ne présentait aucun incon-
s ponts en maçonnerie dont la voûte est un arc de
lèches de 1/6 à 1/7, comme pour les ponts avec fermes
charpente; mais il n'en était pas ainsi pour les ponts
à plein cintre.
uteur minima, il n'est pas possible d'ouvrir entière-
res des voitures à voyageurs; les siéges des conduc-
sont réduits à de très-petites dimensions, quoique
rieur passe à 0^m,05 de l'intrados de la voûte, et on est
image des marchandises encombrantes sur les plates-
gons, et pour le transport des voitures de roulage sur

nients ont même déterminé diverses compagnies à
pour les souterrains, à 4^m,60 la hauteur de l'intrados
rails extérieurs pour les ponts en maçonnerie à plein
donne 5^m,50 de hauteur au-dessus des rails dans l'axe

DIMENSIONS PRINCIPALES DU MATÉRIEL ROULANT DES CHEMINS DE FER DU MIDI, POUR SERVIR A L'ÉTABLISSEMENT DES QUAIS ET OUVRAGES D'ART.

Machines-tender mixtes et machines-tender à voyageurs.

Longueur de dehors en dehors des tampons. . . . . 8m,[illegible]
Largeur totale aux traverses extrêmes. . . . . 2,7[illegible]
Hauteur totale depuis le dessus des rails, cheminée comprise. . . . . 4,[illegible]
Hauteur de la caisse à eau au-dessus du rail. . . . . 2,[illegible]
Hauteur des extrémités inférieures des clefs des bielles motrices et d'accouplement au-dessus du rail. . . . . 0,[illegible]
Hauteur des chasse-pierres au-dessus du rail. . . . . 0,[illegible]
Écartement longitudinal des chasse-pierres. . . . . 7,[illegible]
Écartement d'axe en axe des essieux extrêmes. . . . . 4,[illegible]
Diamètre de la circonférence décrite par l'extrémité des tampons. . . . . . . 9,[illegible]
Id. des chasse-pierres. . . . 7,[illegible]
Calage intérieur des roues d'avant et d'arrière. . . . . 1,[illegible]
Id. du milieu. 1,[illegible]

Machine avec son tender.

Longueur totale d'une machine et de son tender accouplés (chemin de fer du Nord). . . . . 13,[illegible]

Voitures et wagons.

Hauteur de l'axe des tampons au-dessus du rail { non chargé. . . . . 1,[illegible]
{ chargé. . . . . 0,[illegible]
Calage intérieur des roues. . . . . 1,[illegible]

Voitures de 1re classe, 2e classe et wagons à bagages.

Longueur de dehors en dehors des tampons. . . . . 7,[illegible]
Hauteur du dessous du 1er marchepied au-dessus du rail (voiture chargée) . . 0,[illegible]
Largeur de dehors en dehors des marchepieds. . . . . 3,[illegible]
Largeur de dehors en dehors des tampons. . . . . 2,[illegible]
Hauteur de la guérite au-dessus du rail { minima. . . . . 3,[illegible]
(La guérite est placée sur le côté) { maxima. . . . . 3,[illegible]
Écartement d'axe en axe des essieux. 3,[illegible]
Diamètre de la circonférence décrite par l'extrémité des tampons. . . . . . 7,[illegible]

Voitures de 3e classe et voitures mixtes.

Longueur de dehors en dehors des tampons. . . . . 8,[illegible]
Hauteur du dessous du 1er marchepied au-dessus des rails (voiture chargée) . 0,[illegible]
Largeur de dehors en dehors des marchepieds. . . . . 3,[illegible]
Largeur de dehors en dehors des tampons. . . . . 2,[illegible]
Hauteur de la guérite de 3e classe au-dessus du rail { minima. . . . . . . 3,[illegible]
(La guérite est placée sur le côté) { maxima. . . . . . . 3,[illegible]
Écartement d'axe en axe des essieux. 4,[illegible]
Diamètre de la circonférence décrite par l'extrémité des tampons. . . . . . 8,[illegible]

Wagons à marchandises et à bestiaux.

Longueur de dehors en dehors des tampons. . . . . 7,[illegible]
Largeur de dehors en dehors des tampons. . . . . 2,[illegible]

la caisse avec les deux portes.	2m,840
tablier (voiture chargée).	1 ,165
rite au-dessus du rail cée au milieu de la caisse) { minima.	3 ,775
{ maxima.	3 ,805
n axe des essieux.	3 ,200
onférence décrite par l'extrémité des tampons.	7 ,656

Wagons-écuries.

rs en dehors des tampons.	5 ,560
en dehors des tampons.	2 ,100
rne au-dessus du rail lacée au milieu de la caisse) { minima.	3 ,800
{ maxima.	3 ,840
n axe des essieux.	2 ,600
onférence décrite par l'extrémité des tampons.	5 ,820

Wagons plates-formes.

rs en dehors des tampons.	7 ,460
en dehors des tampons.	2 ,100
wagon.	3 ,100
tablier (voiture chargée).	1 ,095
n axe des essieux.	3 ,200
onférence décrite par l'extrémité des tampons.	7 ,656

Wagons à bois.

s en dehors des tampons.	5 ,560
en dehors des tampons.	2 ,007
la caisse.	2 ,600
tablier (voiture chargée).	1 ,095
n axe des essieux.	2 ,600
onférence décrite par l'extrémité des tampons.	5 ,820

des routes aux abords des ponts. S'il y a lieu de dé-
tes existantes, la déclivité des pentes ou rampes ne
r 0m,03 pour les routes impériales et départementales,
es chemins vicinaux.

ains. La largeur entre les pieds-droits (cah. des charges
fixée à 8 mètres et la hauteur sous clef à 5m,50.
qu'un homme puisse se tenir debout sur l'impériale;
ces les plus élevées ayant 2m,80, si l'on compte 2m,20
de grande taille avec son chapeau, on voit que la dis-
à l'intrados ou aux sous-poutres doit être de 5 mètres

ficies occupées par les gares et ateliers. Les gares de
riaux d'entretien des chemins se plaçant en des points
au niveau du sol, et situés à proximité des lieux d'ex-
e peut en fixer l'étendue, et surtout l'éloignement.
our voyageurs dépendent du nombre des voyageurs et
ui des convois partant et arrivant. Quant aux gares de
, leur surface dépend non-seulement du nombre de con-

voiset de la quantité de marchandises, mais aussi de l
marchandises. Ainsi, les matériaux de constructio
brûler occupent un vaste espace. De plus, les chemi
soutenir la lutte avec la navigation, doivent pouvoir e
marchandises pendant un certain temps.

La surface affectée aux gares a toujours été en aug
cause de l'accroissement de mouvement que pour sat
gences du public.

MM. Perdonnet et Polonceau divisent les gares int
6 classes :

Première classe. Gares de passage hors ligne, tell
Lyon, d'Orléans, de Tours, de Strasbourg, de Metz et
que les gares d'embranchement, où se trouvent or
dépôt de machines, des ateliers de réparation plus o
dérables, un buffet, etc.; telles sont celles de Montereau
nay, Vierzon, Poitiers, Amiens et Lille.

Deuxième classe. Stations intermédiaires de premi
mettant un mouvement considérable de voyageurs et
plus ou moins important de marchandises.

Troisième classe. Stations de banlieue des chemins
mouvement des voyageurs est très-grand, et celui de
nul.

Quatrième classe. Stations intermédiaires de s
comme celle de Lagny, la Ferté-sous-Jouarre, etc.

Cinquième classe. Stations intermédiaires de 3[e] cl
celles d'Ars-sur-Moselle, Brunoy, etc.

Sixième classe. Stations très-petites, où le mouve
geurs est très-peu considérable et celui des marcha
fiant.

La surface occupée par les grandes gares intermédi
et par les gares terminales autres que celles de Pa
Bruxelles, est de 8 à 12 hect., sauf quelques cas except
à Lyon, Valenciennes, etc. Pour les stations d'emb
surface est de 6,5 à 7 hectares.

Pour les stations de banlieue, la surface est de 300
carrés quand les conditions sont celles du chemin d'A
viron 1 à 2 hectares dans les conditions du chemin de

La superficie varie de 3 à 6,5 hect. pour les stations
de première classe; elle est environ 2,5 hect. pour cel
classe; 1,5 à 2 hect. pour celles de troisième classe,
pour celles du dernier ordre, sans atteindre que raren

Surfaces des stations intermédiaires de seconde classe des chem
surface n'a pas varié : Bollwiller, 1,01 hect.; Erstein, 0,90 hect.;

ntermédiaires de première classe ont pour surface : Mulhouse, avant de la ligne de Paris à Mulhouse, 2,88 hect.; Colmar, 2,12 hect.; Schéct.

nières stations ont l'importance des stations extrêmes de Strasbourg et e de Mulhouse renfermait, en outre de ce qui était affecté au service ornise pour 4 locomotives, et une autre pour les wagons; un établissepour les marchandises, dont le mouvement est considérable; enfin, un ation de wagons avec ses dépendances.

tations hors ligne, le bâtiment des voyageurs est beaurand que dans celles intermédiaires de première classe; uvent à ce qu'il contient un grand buffet. Les bâtiments d'embranchements se rapprochent pour l'étendue de ceux hors ligne. La partie consacrée aux voyageurs, abstracbuffet, ne s'éloigne pas beaucoup, pour l'étendue, de la pondante dans les stations intermédiaires de première rface du bâtiment des voyageurs, pour les stations intere première classe varie de 400 à 430 mètres carrés; elle 330 mètres carrés pour celles de deuxième classe; de arrés pour celles de troisième classe, et de moins de carrés pour celles de dernier ordre.

nt des stations de banlieue est généralement petit, eu and nombre de voyageurs; sa surface ne dépasse pas Enghien); mais la surface des marquises ou halles coues-grande (chemins d'Auteuil et de Vincennes).

ations intermédiaires, la surface couverte consacrée aux s varie ordinairement de 5 à 20 mètres par tonne.

TABLEAU des surfaces occupées par les différents services dans quatre gares de Paris.

DÉTAILS.			EST. Gare de		LYON. Gare de		NORD. Gare de		ORLÉANS Gare de	
			voyag.	march.	voyag.	march.	voyag.	march.	voyag.	march.
Longueur totale de la grille d'entrée à la pointe des aiguilles			m 565	m 1 300	m 420	m 1 180	m 500	m 1 050	m 500	m [illegible]
Longueur totale moins la cour d'entrée			500	»	360	»	430	»	400	»
Longueur des halles couvertes			150	»	150	»	130	»	160	»
Surface totale			53 960	344 800	64 000	248 000	79 375	347 800	37 450	[illegible]
Partie de cette surface affectée aux ateliers, remises et dépendances, environ			»	80 000	»	110 000	»	140 000	»	[illegible]
Voyageurs. Surface.	couverte.	Bâtiments avec ou sans buffet	5 680	»	9 430	»	5 530	»	10 880	»
		Halles à voyageurs, marquises intér., abris	4 500	»	9 240	»	5 760	»	9 435	»
		Marquises extér., cours et latrines	375	»	1 450	»	350	»	1 100	»
	découverte.	Trottoirs, cours et dépendances	9 550	»	6 600	»	3 175	»	13 [illegible]	»
Marchandises. Surface.	couv.	Halles ou hangars	2 040	21 755	2 200	24 500	2 935	48 950	»	[illegible]
	découverte.	Quais	»	3 975	»	1 500	»	210	»	[illegible]
		Cours	2 910	80 025	3 800	16 100	4 240	16 550	»	[illegible]
Matériel. Surface.	couv.	Ateliers, remises de locomotives et wagons	1 720	21 245	4 000	20 265	410	53 849	»	[illegible]
	découverte.	Cours, parcs à roues, quais à coke	»	58 755	»	85 735	»	85 051	»	[illegible]
Surface occupée par les voies			20 740	108 945	27 080	99 900	45 975	143 190	2 665	[illegible]
Parties non utilisées jusqu'à ce jour, ou divisées en jardins			»	50 000	»	»	11 000	»	»	»

Mouvement dans les gares du tableau précédent.

DÉTAILS.			EST.	LYON.	NORD.	ORLÉANS
Grande vitesse.	Voyageurs.	Nombre de trains par jour	34	32	76	[illegible]
		Nombre maximum de voyageurs en une journée	4 903	5 322	10 431	»
		Nombre moyen de voyageurs par jour	1 742	1 812	3 750	[illegible]
		Nombre maximum de voyageurs par train	1 000	730	850	»
	Bagages et messageries.	Maximum d'une journée en kilogrammes	39 927	201 858	97 203	»
		Moyenne journalière	26 600	69 388	41 751	[illegible]
Petite vitesse.	Marchandises.	Nombre de trains par jour	32	12	31	»
		Maximum d'une journée en tonnes	2 603	3 252	4 480	»
		Moyenne journalière en tonnes	1 703	2 140	2 617	[illegible]

les tableaux précédents : la gare d'Orléans, construite depuis long-
oup trop petite. Celle de l'Est était suffisante pour le chemin de
dépendances avant l'ouverture de la ligne de Mulhouse.
rd, les bureaux de l'administration centrale sont dans les bâtiments
nt en général à deux étages. Aux chemins de Lyon et d'Orléans, il
le-chaussée, et les bureaux sont dans des bâtiments contigus à la

es gares du tableau précédent, MM. Perdonnet et Po-
ient pour des cas analogues :

la gare proprement dite des voyageurs, non compris une cour anté-
ment de tête, 360 à 430 mètres. La longueur, 150 à 160 mètres, des
ermet d'abriter un convoi de 20 voitures ; mais cette longueur doit
mètres.
sante pour la gare des voyageurs, le service de la messagerie et de la
nde vitesse se faisant dans cette gare, 5,5 à 8 hectares.
erte pour le service des voyageurs seulement, 7500 mètres pour le
mètres pour la halle, non compris les remises contiguës comme au

couverte pour chacune des cours d'arrivée et de départ, 3000 à

verte pour le service de la messagerie et de la marchandise à grande
00 mètres. Surface découverte, 2000 à 4000 mètres.
ouverte et celle découverte, pour le service du matériel, varient avec
ôt.
verte pour le service de la marchandise à petite vitesse, 25000 à
rface découverte, au moins 17000 mètres, dont une partie en trot-

grands ateliers de réparation, 13 à 14 hectares, comme au Nord, dont
u moins sont couverts.
pée par les voies dans les grandes gares de marchandises, 10 à

totale des grandes gares de marchandises n'est pas inférieure à
e est ordinairement plus grande, comme le montre le tableau. Ainsi,
t, la gare de la Villette occupe 34,50 hect., dont 9 hect. environ ont
établissement d'une vaste carrosserie et à des remises de locomotives
hect. sont affectées aux voies principales et aux voies des marchan-
t d'aussi grandes dimensions, on a eu en vue l'exploitation de toutes
de la France. Il y a en outre à Épernay, pour la réparation des loco-
atelier qui couvre un espace de 9 hect., et encore à Metz des ateliers
oit établir à Mulhouse un atelier de la même importance, nécessité par
Au chemin de Rouen, la gare des Batignolles a 31,70 hect., dont
és au service des marchandises, et le reste à des ateliers, remises,
etc.

PRIX approximatif, par mètre carré, des stations de la Compagnie des chemins de fer du Nord.

CONSTRUCTIONS.	1er. Gares de tête de ligne.		2e. Gares d'embranchement principal.		3e. Gares de tête de ligne.		4e. Stations n° 1.		5e. Stations n° 2.		6e. Stations n° 3.		7e. Stations n° 4.	
	Paris et La Chapelle.		Amiens et Lille.		Dunkerque et Calais.		Creil, Arras, Douai.		Pontoise, Compiègne, Noyon, Chauny, Clermont, etc.		Franconville. Beaumont, Pont-St-Maxence, Saint-Just, etc.		Thourotte, Apilly, Ourscamp, Boileux, etc.	
	surface.	prix.	surface.	prix.	surface.	prix.	surface.	prix.	surface	prix.	surface.	prix.	surface.	prix.
	m.c.	fr.	m.c.	fr.	m.c.	fr.	m.c.	fr.	m.c.	fr.	m.c.	fr.	m.c.	fr.
(1) Bâtiment principal. . . . des voyageurs.	5 000	300	5 450	200	1 300	200	680	150	145	172	402	400	84	400
(1) Bâtiment principal. . . . des employés.								220	400	250	468	400	»	»
(2) Halles couvertes.	6 000	66.66	4 200	71.43	1 400	57.15	1 000	55	»	»	»	»	»	»
Marquises.	»	»	»	»	»	»	»	»	210	47.60	405	47.60	»	»
(3) Halles à Marchandises.	12 600	55.55	6 240	56.10	1 360	58.80	880	56.80	520	57.70	320	62.50	»	»
(4) Latrines.	»	»	»	»	»	»	40	250	36	139	30	83	»	»
(5) Dépôts. . . . compris ateliers et magasins. .	14 278	126.10	4 268	128.85	682	95.30	»	»	»	»	»	»	»	»
(5) Dépôts. . . . sans ateliers. .	»	»	»	»	»	»	375	93.33	187	96.25	»	»	»	»
(6) Remises de wagons. . . . avec ateliers de réparations. . .	10 000	50	3 321	82.80	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
(6) Remises de wagons. . . . sans ateliers.	»	»	»	»	»	45	375	53.33	187	53.45	»	»	»	»
Réservoirs	160	200	160	200	160	200	130	200	180	200	»	»	»	»
Quais de voitures à 2 quais. . .	2 000	8	2 130	8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Quais de voitures à 1 quai . . .	»	»	»	»	1 000	(a)	1 000	(a)	1 000	(a)	»	»	»	»
Quais de voyageurs.	2 200	8	2 500	8	1 000	(a)	1 000	(a)	800	(a)	1 150	(a)	1 100	(a)

(1) Paris, Amiens, Calais, Creil, Arras, Douai, Compiègne, Chauny, Franconville, Saint-Just, Boves, Armentières.
(2) Lille, Calais, [illegible]
(4) Compiègne.
(5) La Chapelle, Amiens, Dunkerque, Noyon.
(6) La Chapelle, Amiens, [illegible] Hazebrouck.
(a) [illegible] est de 8 fr. par mètre.

...ètre carré des bâtiments de chemins de fer (Nouvelles Annales de la construction).

	CHEMIN de fer du Nord.	GARE de Clermont-Ferrand.
	fr.	fr.
...étage	250.00	213.00
...-de-chaussée	150.00	113.00
...oyageurs, en moyenne	»	126.00
...andises	55. 0	61.58
...	»	57.35
...	»	8.76
...ts	8.00	9.30
...itures	50,00	46.65
...iture	1550.00	1370.00
...motives	»	66.13
...hine	12000.00	12476.00

...ficie occupée par les chemins de fer. L'ensemble des ter-...our l'établissement des chemins de fer est en moyenne ...ectares par myriamètre de chemin ; lesquels se divisent ...:

...ou largeur en couronne	9 hect.
...ons, ateliers, cours, voies d'évitement	3
..., fossés, banquettes, perrés	17
...tion de chemins et cours (hors clôture)	1
...ins pouvant être revendus	4
Total	34

...e de 34 hectares varie d'un chemin à l'autre ; elle ne ...u-dessous de 16 hect., et elle s'est élevée à 43,6 hect. pour ...Frouard à Forbach.

...ssée sur déblai. Sur un terrain solide, on fait immédia-...lle jusqu'à la profondeur de 0m,50 ou 0m,60 au-dessous ... rails, en inclinant le fond de 0m,03 par mètre à partir ...'un ou l'autre côté. On construit ensuite, parallèlement ...murs en pierre sèche qui séparent la chaussée du fossé ; ...es murs une hauteur égale à celle de la chaussée et un ...du côté du fossé. Sur le fond de l'espace intercepté par ...tale une couche de 0m,25 d'épaisseur de sable, de pierres ...le menu charbon ou de toute autre matière perméable et ...lastique ; sur cette couche, on place les dés ou les tra-...ivent supporter les coussinets. Les coussinets posés, on ...ails, que l'on fixe par des coins de bois, et on remplit ...ntre les dés ou les traverses, jusqu'au niveau de la face ...es murs en pierre sèche, avec la matière employée pour

le fond de la chaussée. Il importe que les dés, et surtout les traver soient bien enveloppés de cette matière, laquelle, étant bien pilon tout autour, les empêche jusqu'à un certain point de se déranger contribue puissamment à leur conservation.

Dans les tranchées, on peut employer les dés ou les traverses; m 'on préfère ces dernières, qui sont plus élastiques, maintiennent l parallèles les deux lignes de rails et sont plus faciles à relever. Il a que le prix qui, dans certaines localités, peut faire employer dés (462).

458. *Chaussée sur remblai.* Si le terrain est solide, la chaussé construit comme au n° précédent, sauf la plus grande largeur de cotements (450). Il n'est pas nécessaire de bomber la surface qui porte la matière perméable et élastique, l'inégalité de tassem remblai la bombe naturellement.

Les dés sont prohibés sur remblai, on n'y emploie exclusive que les traverses en bois (463).

459. *Chaussée sur un terrain marécageux.* Après avoir dessé terrain, si cela est possible économiquement, on retombe dan cas précédents.

Si le terrain marécageux a peu de profondeur, et qu'on ne ve ou qu'on ne puisse pas le dessécher, on enfonce des pilots qui p trent jusqu'à une profondeur convenable dans le terrain solide (l suivants); on réunit la tête de ces pieux par des longrines sur quelles on pose des traversines, et sur ces traversines on plac nouveaux cours de longrines qui portent les rails.

Si le marais est très-profond, on dessèche, au moyen de fossé rallèles, une couche de 0^m,40 à 0^m,50 d'épaisseur. Sur cette ban terrain, on repose des fascines que l'on recouvre d'un lit de railles. On place ensuite, comme dans le cas précédent, des cou longrines, des traversines et les longrines qui supportent les ra

Au chemin de fer de Versailles (rive gauche), pour fonder su terrain sablonneux aquifère d'une profondeur considérable, on foncé le long de chacun des talus deux cours de palplanches élo de 1 mètre; on a vidé les terres entre ces palplanches, et on remplacées par des murs en pierres sèches. On a ensuite enle couche de terrain ainsi desséchée entre les deux fossés, et sur le de cette nouvelle excavation on a posé avec soin un lit de gr pierres; sur ce premier lit, on en a étendu quelquefois un seco même un troisième en pierres moins grosses, et sur ces pierres établi la chaussée en sable de 0^m,50 d'épaisseur (457).

460. ***Pentes des chemins. Rayons des courbes.***

Pentes. Les chemins de fer sont dits : à *pentes faibles*, lorsqu clinaison, à quelques exceptions près, reste au-dessous de 8 à 10 limètres ; à *pentes moyennes*, quand on rencontre sur une partie

rs des pentes atteignant 8 à 10 mill.; à *fortes pentes*,
ɔes inclinées à plus de 10 mill. existent sur une cer-
e leur parcours.
; grandes lignes récemment construites en France,
é à réduire les pentes à 0m,008 ou 0m,010 au maximum
ncore n'a-t-on adopté des pentes aussi fortes qu'au
tions les plus accidentées, sur une petite partie du
is que partout ailleurs on s'est attaché à ne pas dé-
0m,005. C'est également ce que l'on a fait sur les che-
re, d'Allemagne et des États-Unis.
4 à 5 mill. ne paraissent pas nuire à l'exploitation, en
le transport des voyageurs; mais lorsqu'elles s'éten-
ertaine longueur et se trouvent sur des parties de
rbure du chemin accroît déjà la résistance, elles né-
efois l'emploi de locomotives de renfort pour la trac-
s de marchandises.
ns montagneuses, où il faudrait exécuter des travaux
ur obtenir des inclinaisons ne dépassant par 0m,010 à
t aujourd'hui des pentes qui s'élèvent jusqu'à 0m,035,
omotives discontinuent à remorquer les convois.
inés à machines fixes permettent encore de dépasser
tes; mais ils ont l'inconvénient d'occasionner une
ıs le service de l'exploitation et de grands retards, de
nme ils n'admettent pas de grandes sinuosités et des
ls peuvent entraîner à exécuter des terrassements qui
ivement dispendieux. Si, par nécessité ou par raison
des petites lignes de second ordre, on fait usage de
on peut sans inconvénient leur donner, pour le trans-
ndises, l'inclinaison naturelle du sol, quelque forte
is on ne peut transporter sans danger des voyageurs
ui dépassent celles des plans inclinés du chemin de
-Étienne, et dont la limite est de 0m,05. En Angle-
a défendu tout transport régulier de voyageurs sur le
fort à Peakforest, dans le Derbyshire, où la pente at-
11 en plusieurs points.
e les chemins de fer arrivent aux gares extrêmes par
2 à 3 mill., qui ont l'avantage de faciliter le départ des
lentir la vitesse à l'arrivée. Dans les stations intermé-
ıs partant dans les deux sens, et de plus les wagons
is poussés par des hommes sur les voies de garage, le
niveau. Le chemin doit aussi être de niveau à l'em-
changements de voie ou dans toute autre partie où
trouve déjà augmentée par d'autres causes que la

Rayon des courbes.

Les courbes sur les chemins de fer à *grande vi*
à l'heure) les mieux exécutés ont en général de 8
au moins. Sur quelques chemins d'Autriche, on
180^m; mais on ne marche qu'à de petites vitesses (
avec des machines à 6 ou 8 roues à essieux
américain. Sur les chemins américains, on est
dessous de cette limite.

Aujourd'hui, selon M. Couche, les Allemands
néralement à l'emploi du matériel américain, e
sacrifices assez grands, 5 ou 600^m de rayon est
qu'ils cherchent à atteindre. Ce n'est que dans le
mettent sans scrupule des rayons qui paraissen
tits, et dont l'influence sur le matériel est d'auta
que les manœuvres se font, en Allemagne, presqu
les changements de voie.

Un rayon de 2 à 300^m suffit lorsqu'on emploie d
trot, ou des machines traînant de fortes charges
tesses. Quand les chevaux vont au pas, on peut ad
petit que l'on veut, puisqu'alors on peut employ
sur l'essieu, le sytème Laignel ou tout autre ayan
nuer la résistance dans les circuits.

Au chemin de Metz à Forbach, sur la voie de ce
visoirement autour de la montagne de Steinbe
de 0^m,006 et des courbes de 150^m de rayon, l
les plus grosses, à 6 roues couplées pour march
service pendant 4 mois sans aucun accident; il es
fatiguaient beaucoup, quoi qu'on n'allât qu'au pas
la précaution d'augmenter un peu l'écartement
nuer le frottement.

Dans les gares belges, on rencontre souvent
Les anciennes machines Stephenson à 6 roues
Belgique, y passent assez facilement; mais av
chines dans lesquelles un des essieux est placé
à feu, il convient de donner à ces courbes de 25
moins.

Ce n'est en général qu'aux points où l'on est
vitesse des trains, comme dans le voisinage des
diminuer notablement le rayon des courbes.

On évite avec un soin particulier les courbes d
rampes très-inclinées, où les trains descendan
grande vitesse, et où les trains montants éprou
résistance.

Quand deux courbes de sens contraires se su

ent de les séparer par une partie droite d'une longueur
e à celle d'un train.

rbes adoptées sur quelques chemins de fer.

à pentes faibles. Sur le chemin de Mulhouse la pente
asse pas 0m,006, et le rayon des courbes, si ce n'est
s, ne descend pas au-dessous de 800m.

yon à Avignon. Les pentes ne dépassent pas 0m,005, et
une longueur de 600m. Il y a une courbe de 500m de
le longueur, une 2e de 520m de rayon et 800m de lon-
e de 600m de rayon et 850m de longueur; placées toutes
ée des stations principales. Il y a deux autres courbes
n et toutes les autres ont plus de 700m.

ondres à Birmingham. A la sortie de Londres, la pente
7 à 0m,015, en moyenne 0m,010; au delà du sommet
e, les pentes ne dépassent pas 0m,003. Le rayon des
cend que dans un seul cas et par exception à 540m.

ondres à Bristol. Sur un espace relativement court, on
ampes opposées inclinées chacune de 0m,0095, ayant
autre 4000m de longueur. Le rayon des courbes est plus
ous les autres chemins; il est généralement de 6400 à

à pentes moyennes. Chemin de Rouen au Havre, sur le-
e une pente de 0m,008, d'abord sur une longueur de
retot, puis sur 8 kilom. d'Epretot à Harfleur, et après
,0015 qui s'étend seulement sur une longueur de 180m;
ncore sur la partie qui comprend le viaduc d'Harfleur.
onsecours à une faible pente de 0m,0014 et se trouve en
e courbe de 750m de rayon et 860m de développement. Le
es courbes est en général supérieur à 750m.

yon. Des pentes de 0m,008 s'étendent sur des longueurs
m à 10 kilom. Aux stations de Beaune et de Châlons
urbes de 500 de rayon.

'Orléans il existe une pente de 0m,008 sur une longueur

trasbourg. Une rampe de 0m,008 sur une longueur de
à peu près jusqu'au palier de la station de Loxeville;
e une partie de chemin d'environ 3 kilom. avec une
inaison, et enfin un nouveau plan incliné de 0m,008 de
contraire du premier. Les courbes sont nombreuses; il
rayon descend jusqu'à 750m, et même 700m aux abords
randes stations.

ceinture. Les pentes varient de 0m,002 à 0m,01065. Le
um des courbes est de 200m.

Londres à Brighton. Une pente de 0m,01 règne sur une

longueur de 1 kilom. Partout ailleurs l'inclinaison ne dépasse pas 0m,004.

Chemin de Liverpool à Manchester. C'est le doyen des chemins anglais à grande vitesse; le chemin de Saint-Étienne est son aîné d'une année ; mais il n'admet pas la rapidité de transport qui mérite l'épithète de grande vitesse (60 à 80 kilom. à l'heure). On y trouve deux plans inclinés en sens inverse, de chacun 2 kilom. de longueur et 0m,01 de pente, qui devaient être desservis par deux machines fixes, quand apparurent au concours de Liverpool des machines à chaudières tubulaires qui remontèrent les pentes de 0m,01 avec une assez forte charge et une vitesse qui émerveilla les spectateurs. Alors on renonça aux machines fixes, si ce n'est pour la partie inclinée à 0m,02 établie dans la ville de Liverpool.

Chemin de Manchester à Leeds. On y trouve une pente de 0m,005 sur une longueur de 4500m et une autre de 0m,0065 sur une longueur de 6500m. Les courbes ont généralement 1200m au moins de rayon, à l'exception de trois qui n'ont que 250m de rayon, et une longueur de 300m seulement. L'éboulement d'un tunnel a fait adopter ces courbes à petit rayon, que l'on passe en modérant la vitesse.

Chemin de Newcastle à Carlisle, sur lequel existe une rampe de 6200m inclinée à 0m,0095 et une autre de 5500m inclinée à 0m,0055; partout ailleurs les rampes ou pentes ne dépassent pas 0m,005 en inclinaison. Ce chemin se distingue surtout par son grand nombre de courbes à petit rayon nécessitées par un pays assez accidenté. Plusieurs n'ont pas au delà de 400m de rayon.

3° *Chemins à fortes pentes. Chemin de Birmingham à Gloucester*, sur lequel on trouve un plan incliné à 0m,027 sur une longueur de 3200m, et un autre à 0m,012 sur une longueur de 1600m. Le plan incliné de Bromgrave est desservi par de puissantes machines américaines.

Chemin de Cromford à Peakforest. Il est établi au milieu d'une des parties les plus montueuses de l'Angleterre ; il passe sur la cime la plus élevée du Derbyshire, en s'y élevant, d'un côté comme de l'autre, par une série de plans inclinés dont la pente atteint quelquefois 0m,14. Une partie du chemin, tracée sur le revers de la montagne, en suit toutes les sinuosités en faisant des circuits de 200m de rayon; les wagons ont un essieu pour chaque roue, afin qu'ils puissent tourner plus facilement sur les courbes.

Chemin de Saint-Étienne à Lyon. De Saint-Etienne à Rive-de-Gier l'inclinaison est de 0m,014 sur une longueur de 21 kilom., de Rive-de-Gier à Givors 0m,0065, et de Givors à Lyon 0m,0005. Le rayon des courbes n'est pas inférieur à 500m. Les wagons descendent par l'impulsion seule de la gravité jusqu'à Givors ; il suffit d'en modérer la vitesse avec des freins. Des locomotives les remorquent de Givors à Lyon. Ce sont également des locomotives qui remontent les wagons

Étienne, ce qui augmente notablement le prix du trans-
pente n'était pas assez forte pour admettre l'établisse-
ils automoteurs. Le service des voyageurs serait d'ail-
impraticable par ce système et par celui des machines

Saint-Étienne à Roanne. A une longue partie presque
laquelle les wagons sont remorqués par des locomo-
nt plusieurs plans inclinés d'environ 0m,05 de pente des-
machines fixes.

Vienne à Trieste. Le passage du Sœmmering a été ef-
nt recours à des courbes dont le rayon descend jus-
cependant être inférieur à 285m sur les rampes incli-
La plus longue des rampes inclinées au maximum 0m,025
ement de 3170 mètres et elle est précédée seulement par
r de 630m.

du *Fichtelgebirge, en Bavière*, il existe une rampe con-
de longueur, inclinée de 0m,025. Comme au Sœmme-
otive l'a remporté sur les autres moyens de locomotion.
e qui a lieu sur le chemin de Brunswick à Harzbourg,
a une inclinaison qui croît successivement jusqu'à la
zbourg, où elle atteint la limite 0m,0277.

ins suisses, on trouve encore des pentes de 0m,025 à

e *chemin de Turin à Gênes*, pour s'élever du niveau de
met des Apennins, sur la distance de 20 kilom., on a
a plus forte inclinaison, 0m,035, que l'on ait encore
s lignes de grande communication. Jusqu'à présent,
t été remorqués sur les rampes à 0m,035 par des loco-
oues du poids d'environ 22 tonneaux, disposées pour
ar la plate-forme du mécanicien, qui peut ainsi ma-
eux locomotives nécessaires pour remorquer un convoi
étudie en ce moment la question de savoir s'il n'y aurait
nplacer les locomotives par des machines fixes hydrau-

et pierres concassées. Le *ballast* doit être perméable
ertaine consistance. Il est ordinairement en sable, qui
osé de grains de grosseur moyenne et assez durs pour
duits en poudre au passage des convois. L'eau circule
ent dans le sable fin, qui peut en outre être projeté
u par le courant d'air que produisent les convois sur
ottantes des machines. Une petite proportion d'argile
au sable une certaine consistance qui l'empêche de se
facilement; mais si la proportion est un peu forte, le

sable se convertit en *boue* à la suite des grandes pluies, et on conçoit qu'il doit être rejeté.

Dans quelques localités où le sable est rare, on l'a remplacé par des pierres concassées, mais l'entretien est plus difficile; par un mélange de briques pilées et de laitiers; par de la houille menue, qui a très-bien réussi, mais qui doit être privée de pyrite de fer, afin de ne pas s'enflammer spontanément; enfin, par de la craie, mais seulement pour l'assise inférieure; car elle est souvent gélive et susceptible de se réduire en boue; au chemin du Nord, elle s'est bien comportée.

Il faut au moins 4 mètres cubes de sable par mètre courant de chaussée, sans compter ce que l'on consomme dans les premiers temps pour relever la voie.

Le prix du sable est très-variable; il dépend surtout de la distance de la carrière au point où il est employé. A la carrière, il coûte ordinairement de $0^f,50$ à $0^f,75$ le mètre cube; au lieu que rendu sur le chemin de fer, il a coûté 2 fr. au chemin de Saint-Germain; au chemin de fer de Versailles (rive gauche), sans que la distance de transport soit très-considérable, il a coûté 4 fr., $4^f,50$ et jusqu'à 6 et 7 fr. le mètre cube; au chemin de fer de Lille à la frontière belge, il a coûté jusqu'à 12 fr., et en moyenne $8^f,40$.

Les pierres concassées employées à la construction de la chaussée doivent être d'égale dureté et pouvoir, comme le sable, résister à l'écrasement. Il faut rejeter celles que la gelée réduirait en poussière.

Instruction bavaroise au sujet du ballast : il ne convient jamais d'employer :

1° Du sable ou du gravier argileux;

2° Du sable quartzeux, grossier, pur, sans être mélangé avec du gravier ou des pierres concassées;

3° Du sable fin et mouvant, soit seul, soit comme mélange avec du gravier ou des pierres concassées;

4° Des pierres pourries ou se dilatant par les influences atmosphériques.

Les matériaux à préférer sont le gravier de quartz dur, ou d'autres pierres non gélives ayant moins de $0^m,045$ de diamètre, mêlées d'environ un tiers de sable, grossier pur, ou renfermant peu d'argile. On obtient un ballast également bon en couvrant un blocage de $0^m,15$ ou $0^m,20$ d'épaisseur d'une couche de pierres passées à l'anneau de $0^m,06$, mélangées d'environ un tiers de sable pur et grossier. Le sable ne doit pas former couche avec les pierres, mais être mêlé en même temps.

Le gravier tout à fait pur d'argile, même mêlé de sable grossier pur, convient moins bien. Les pierres cassées, tendres, qui se réduisent en sable, soit par les influences atmosphériques, soit sous l'action de l'outil, en bourrant les traverses, conviennent encore moins bien.

462. *Dés.* Les dés peuvent être d'une pierre quelconque, mais pas trop tendre ni trop gélive. Sur les chemins anglais, ils n'ont pas moins de $0^m,60$ de côté sur $0^m,30$ de hauteur. A l'exception de la face

e l'on dresse legèrement pour recevoir le coussinet, les
nt brutes ou à peu près. Une plaquette de carton gou-
bois interposée entre le dé et le patin du coussinet
ticité au chemin (457 et 474).

ses. D'aprés le cahier des charges du chemin de fer de

ournir seront en bois de chêne neuf, sans pourriture, nœuds vi-
ulure ni piqûre, de l'espèce la plus dure et la plus dense, et abattu
c'est-à-dire du 15 octobre au 15 mars. Ces traverses n'auront pas
abatage.

ont équarries ou demi-rondes. (La compagnie de l'Est n'admet plus
ondes.)

uarries auront les quatre faces dressées à la scie ou à la cognée, sans
ête sur l'une des faces seulement, et sans que la flache ait plus de

mi-rondes seront débitées dans les bois fendus en deux à la scie, par
paisseur sera moitié de leur largeur; elles seront complètement
ce.

raverses de joint sera à celui des traverses intermédiaires dans le

uivant pour les dimensions des traverses.

ons, et sur un quart de la fourniture seulement, on admettra les to-
au tableau. Il est évident que les tolérances sur la longueur devront
t-à-dire qu'il y aura autant de traverses avec la tolérance en plus
e en moins.

paisseur et la largeur, on ne tiendra pas compte de l'aubier.

ront droites sur les deux faces horizontales, et dans l'autre sens, on
e courbure dont la flèche dépasserait 10 centimètres.

U des dimensions normales des traverses et des tolérances sur divers chemins.

	LONGUEUR de toutes les traverses.	ÉPAISSEUR AU MILIEU, aubier déduit				LARGEUR.			
		Traverses équarries		Traverses demi-rondes.		Traverses équarries.		Traverses demi-rondes.	
		de joint.	in-term.	de joint.	in-term.	de joint.	in-term.	de joint.	in-term.
	m	m	m	m	m	m	m	m	m
urg. . .	2.65	0.15	0.15	0.18	0.165	0.33	0.28	0.36	0.33
. . . . .	2.80	0.17	0.15	0.17	0.15	0.35	0.21	0.35	»
. . . . .	2.75	0.14	0.14	0.14	0.14	»	0.28	0.32	0.22
on. . .	2.60	0.15	0.14	0.15	0.15	0.32	0.22	0.32	0.22
ogne. . .	2.55	0.15	0.15	0.15	0.15	»	0.21	»	0.21

CHEMINS.	Tolérance en plus ou en moins						TOLÉRAN…
	sur la longueur.		sur la largeur.		sur l'épaisseur.		sur la
	Équarries.	Demi-rondes.	Équarries.	Demi-rondes.	Équarries.	Demi-rondes.	courbure
	m	m	m	m	m	m	
Paris à Strasbourg. . .	0.10	0.10	0.04	0.02	0.01	0.01	[illegible]
Paris à Lyon.	0.10	0.10	0.02	0.02	0.02	0.02	[illegible]
Tours à Nantes.	0.15	0.15	0.04	0 04	0.02	0.02	1/15
Orléans à Vierzon . . .	0.25	0.25	0.04	0.04	0.02	0.02	[illegible]
Amiens à Boulogne. . .	0.15	0.15	0.02	0.02	0.01	0.01	[illegible]

Il paraît nécessaire, pour éviter les fortes vibrations, que les tr… verses dépassent l'axe du rail de 0^m,60 au moins ; ce qui porte la longueur à 2^m,70 pour les voies de 1^m,50. Leur largeur ne doit p… dépasser 0^m,36, sans quoi il est difficile de bourrer le sable … dessous.

Lorsque l'aubier est payé, le cahier des charges stipule ordinaire… ment un maximum pour l'épaisseur.

Les bois pour traverses doivent être coupés du 15 octobre … 15 mars, et ils ne doivent pas avoir plus de 2 ans de coupe. Pour … traverses, des roues hydrauliques, etc., on peut employer le bois … chêne presque immédiatement après l'abatage; pour la charpente … la menuiserie, il doit avoir au moins une année de coupe.

Pour le chemin de Paris à Strasbourg, le stère de bois débité rendu sur place a coûté 70 fr. entre Nancy et Strasbourg, 74 fr. ent… Paris et Châlons et de Metz à Nancy ; sur le chemin de Lyon, il … coûté 73 fr., et sur celui de Tours à Nantes, 57 fr. Pour la section … Calais à Lille et de Lille à Dunkerque, le sapin de Stettin est reve… à 50 fr. le stère rendu au port de Dunkerque ou de Calais, mais n… débité. Les traverses sont triangulaires et le bois injecté. En 18… pour le chemin de Metz à Thionville, les traverses n'ont coûté q… 44 fr. le mètre cube ; à Metz, ce prix est aujourd'hui de 50 fr. Les tr… verses payées 75 fr. à Paris, en 1854, se vendent 55 fr. près … Vesoul.

Pour calculer le prix de la traverse remplissant les conditions d… cahier des charges, en partant de celui du mètre cube de bois, on … supposé au chemin de Strasbourg que les livraisons se composent … moitié traverses équarries et moitié demi-rondes ; mais le fourniss… n'en était pas moins libre de donner telle proportion qui lui conv… nait d'équarries ou de demi-rondes. En supposant 70 fr. pour le pri… du mètre cube, on trouve par cette méthode 9 fr. 20 c. pour la tra…

et 7 fr. 75 c. pour la traverse intermédiaire. On évite
›n du cubage.
›s demi-rondes s'obtiennent par un trait de scie sui-
ı rondin, et celles triangulaires par deux traits de scie,
ıgonales d'une pièce équarrie. Les premières reposent
ɔar leur surface plane, et les secondes par une arête :
ɔèchent par la stabilité, aussi les a-t-on complétement
›n Angleterre où elles ont eu beaucoup de vogue.
t en Belgique, où le chêne est assez abondant, il y a
es les traverses se faisaient pour la plupart de ce bois,
ui, sans être préparé, se conserve le mieux; mais au-
'rance, on fait un grand usage du hêtre ou du pin pré-
›terre, où le chêne est rare, presque toutes les traverses
ɔréparé. En Belgique et en Allemagne, on s'est égale-
sapin, qui doit toujours être préparé, à moins toute-
›it très-résineux, comme le mélèze. En Suisse on em-
› sans préparation. Au chemin de l'isthme de Panama
le gaïac; on a reconnu que les autres bois pourrissent
us l'influence du climat des tropiques.
le l'Est on a remarqué que les chevillettes prenaient
ement du jeu dans le sapin que dans les autres bois.
›nnent beaucoup mieux dans le hêtre.
s en chêne de bonne qualité, purgées d'aubier et bien
› ballast, ont une grande durée.
ue les traverses en chêne équarries durent plus de 12
›u que celles demi-rondes ne durent pas en moyenne
ns, ce qui est dû à la prompte destruction de l'aubier.
›ore assigner une limite de durée aux traverses prépa-
te durée est très-grande; ainsi des traverses en hêtre,
› au sulfate de cuivre par le procédé Boucherie, rele-
le 11 ans, ont paru tout à fait neuves.
lu Nord le nombre des traverses préparées au sulfate
le procédé Boucherie est considérable. La compagnie
d'employer celles en hêtre ou sapin pour la réfection
Bâle et pour la seconde voie du chemin de Mulhouse.
du Midi fait usage de traverses en pin préparé par le
.
re, des traverses en sapin du Nord de bonne qualité,
, ne paraissent pas avoir duré plus de 3 ans; d'autres
› l'on y emploie quelquefois, paraissent avoir duré 12 à
sans être préparées.
tiques que l'on a employés à la préparation des bois
› corrosif, le sulfate de fer, le pyrolignite de fer, le chlo-
ın mélange de sulfure de barium et de sulfate de fer,

le sulfate de cuivre et la créosote impure (huile obtenue par la distillation du goudron de houille et ne contenant pas plus de 1 à 2 p. 100 de créosote); mais ce sont ces deux derniers corps qui ont aujourd'hui la préférence, et en France, où la créosote est d'un prix très élevé, on n'emploie que le sulfate de cuivre.

Le sulfate de cuivre rend le bois bien moins combustible; tandis que les huiles en augmentent l'inflammabilité. Les huiles de goudron donnent au bois une odeur fétide et persistante, et le rendent d'un emploi désagréable et incommode. Dans les circonstances où l'on emploie, par mètre cube de bois, $5^k,5$ de sulfate de cuivre valant moyennement 6^f (1^f à $1^f,20$ le kilog.), il faudrait 80 kilog. d'huile créosotée, dont la valeur sur le chantier d'injection serait moyennement 10^f par 100 kil., ou 8^f pour la quantité consommée.

Un rapport de MM. les inspecteurs généraux des ponts et chaussées Didion, Avril et Mary, a fait connaître qu'ils ont trouvé dans un état parfait de conservation, après 7 années, des pièces de hêtre et de charme pénétrées de sulfate de cuivre par le procédé de M. Boucherie, à la dose de 5 à 6 kil. par stère. Depuis cette époque, la même proportion (généralement $5^k,5$ par stère) est exigée par toutes les compagnies de chemins de fer, dans le cahier des charges, pour l'injection des traverses de pin et de hêtre.

La créosote impure, employée en Angleterre pour la préparation des traverses, est extraite de goudron de houille, produit des usines à gaz. On retire environ de 30 à 40 de créosote pour 100 de goudron. Le résidu est pour ainsi dire sans valeur.

Le goudron coûte en Angleterre 1 à 1,5 denier (10 à 15 cent.) le gallon (4,54 litres); lorsqu'il coûte 1 denier, la créosote revient à 3,5 deniers.

L'absorption est de 1 gallon de créosote par pied cube de bois.

En Angleterre, le procédé assez généralement adopté pour créosoter les bois consiste à remplir de bois un grand cylindre en fonte dans lequel on fait passer de la vapeur pendant un certain temps; cette vapeur, en amollissant le bois, facilite la sortie de la séve, et, en se condensant, elle produit un vide partiel, que l'on rend plus complet par l'action de pompes à air. On met alors le cylindre en communication avec un bassin rempli de créosote chauffée à 90° Fahrenheit (271). Ce réactif s'introduit naturellement dans les pores du bois vides d'air. On foule ensuite au moyen de pompes jusqu'à une pression de 10 atmosphères environ. Le bois reste sous cette pression pendant 3 heures avant de le retirer. On opère ainsi sur trois charges en 24 heures.

Quelquefois on ne fait pas le vide dans le cylindre; on ne chauffe que faiblement la créosote en opérant sous une pression de 8 atmosphères, et on laisse les traverses séjourner pendant 8 heures dans

remier procédé est préférable. L'augmentation de poids
est d'environ 9 livres par pied cube.
mins de Rouen et du Havre on a simplement immergé
en chêne dans un bain de sulfate de cuivre. Le sulfate
pas au delà de l'aubier; mais comme celui-ci forme la
nière détruite, la durée des traverses a été prolongée.
Nord, on a cru trouver sur les bois ainsi préparés une
résistance assez sensible, et aujourd'hui on emploie les
hêne sans préparation; c'est ce que l'on fait également
Strasbourg. Les avantages de l'immersion n'ont pas
ser la dépense qu'elle exige.
on se composait de 17 à 18 kil. de sulfate de cuivre par
eau, et la durée de l'immersion était d'environ 2 jours
uce d'épaisseur, c'est-à-dire 20 jours pour une traverse
isseur.
la simple immersion du bois n'est plus considérée
nte. Au chemin du Nord on a préparé un grand nombre
ar le procédé de M. Boucherie modifié. On couche sur
ux extrémités reposant sur deux traverses, une pièce
me de la longueur de deux traverses; on donne au mi-
gueur un trait de scie qui laisse une petite partie infé-
ection inattaquée; on soulève le milieu de la pièce en
cale dessous; ce qui fait ouvrir le trait de scie et per-
ire dans tout son pourtour un bout de corde plus épais
vers les extrémités; on retire la cale, et la corde, qui
tement comprimée par le poids de la pièce, forme du
ne cavité fermée de toutes parts. Par un trou, dans le-
luit un entonnoir qui se prolonge par un tube en caout-
t arriver la dissolution du sulfate de cuivre dans cette
e sort par les extrémités de la pièce, et elle est rem-
dissolution, qui pénètre dans toute la masse du bois;
cependant, il y a au centre une petite partie cylin-
s'imprègne pas; on a soin de l'enlever quand on dé-
rses. La dissolution se fait dans une barrique placée sur
supporté à environ 5 mètres de hauteur par une char-
le d'un robinet, on règle son arrivée dans la partie su-
tube en caoutchouc, qui l'amène dans la cavité du trait
queur qui suinte par la corde et par les extrémités de la
par des rigoles dans une seconde barrique, d'où on la
s la barrique supérieure au moyen d'une pompe.
rès M. Maniel, les principales conditions que doivent
ois soumis à la préparation par le procédé de M. Bou-

Les bois doivent être sains, bien droits, sans trace de pourri
de roulure; car la dissolution, qui suit naturellement le chemin
lerait par les fentes sans pénétrer le bois.

Les arbres abattus du mois de mars au mois de décembre p
mis en préparation du commencement de mars à la fin de ma
mars à décembre doivent recevoir le sulfate de cuivre dans les
l'abatage.

Les branches et la tête des arbres doivent être rognées aussitôt

Il faut avoir soin de laisser à chaque bout des pièces une longu
en sus de celle que doit avoir la pièce à préparer, afin de pouvoi
ment de la mise en préparation.

La culée de l'arbre et la portion de la tête trop petite pour ser
traverses ne doivent être coupées qu'au moment où les pièces v
être mises en chantier.

Toutes ces précautions ont pour but d'éviter la co
bumine contenue dans les fibres du bois, coagulatio
effet de former dans les canaux séveux une série
capables d'équilibrer pendant plusieurs heures un
quide de 10 mètres de hauteur, en opérant sur des
depuis 2 ou 3 jours, et qui pourraient même s'op
nière complète à la préparation des bois qui aurai
soleil pendant les grandes chaleurs.

La durée de la préparation est de 48 à 60 heures
dimensions moyennes, abattus en saison convenabl
telles que le charme, le hêtre, le bouleau, le platan
Il faut de 60 à 80 heures et quelquefois 100 heures
bois de hêtre de 0m,60 à 0m,80 de diamètre, et de
longueur.

On admet généralement que la durée de la prép
raison du carré des longueurs et en raison directe
Les bois à cœur, comme le chêne, l'orme, le m
espèces de peupliers, les résineux, l'acacia, sont p
parer; ils demandent de 5 à 8 jours.

Un procédé, dû à M. Bethell, consiste à injecter
sulfate de cuivre ou tout autre antiseptique dans le
rement employé à cet effet; à le dessécher ensuite
de manière à ne laisser dans le bois que le sel cri
biné avec l'albumine; enfin, à le plonger, au sortir
une chaudière contenant du goudron brut. Cette p
vant M. Bethell, ne reviendrait pas à plus de 11 francs

MM. Legé et Fleury-Pironnet ont au Mans un gran
pour la préparation des bois par le sulfate de cu
faire pénétrer le sel dans le bois, soit par *l'immers*
MM. Margary et Knab), soit par *la filtration avec pres*
déplacement de M. Boucherie), ils traitent le bois
faisant agir successivement le vide et une forte pres

comme on le voit, a la plus grande analogie avec celui que M. Bethell a le plus contribué à faire adopter dans

compose :

en cuivre de 12 mètres de longueur, 1m.60 de diamètre et 0m.01 terminé d'un bout par une calotte hémisphérique rivée, et de l'autre ière contre laquelle vient se fixer, par des mâchoires à vis de pres- d légèrement bombé; une charnière placée à la partie supérieure à la cornière.

sur lesquels on charge dans le chantier les bois à préparer, pour les voie fixée dans l'intérieur du cylindre. Toutes les parties qui peuvent contact avec le sulfate de cuivre sont en cuivre; les essieux et les ics, ainsi que les rails intérieurs au cylindre, sont en bronze.

le de la force de 10 à 12 chevaux, servant de générateur à la va- doit injecter dans le cylindre, et de moteur des pompes à air et d'injection.

ayant reçu les trucs chargés de bois, et son fond mo- faitement fixé, on le met en communication avec la manière à le faire traverser dans toute sa longueur t de vapeur, auquel on donne issue dans l'air par un la partie inférieure de l'appareil.

de l'opération a pour but d'échauffer sensiblement later et faire sortir une partie des gaz et des liquides ux. Dès que la vapeur sort sans entraîner de matières ferme les robinets et on met le cylindre en commu- un condenseur dans lequel on fait arriver un courant u'on évacue avec des pompes à air placées sur la lo- interrompt la circulation d'eau; puis on fait le vide, nt pendant un quart d'heure environ à la pression de e mercure.

eulement qu'on ouvre le robinet qui permet à la disso- fate de cuivre de s'introduire dans le cylindre. Cette ui est à une température de 45 à 75°, s'introduit natu- s le cylindre, dont on complète le remplissage à l'aide foulante, que l'on fait agir jusqu'à ce que la pression aintienne entre 9 et 13 atmosphères. Après cette opéra- plus qu'à laisser écouler le liquide, ouvrir le cylindre hariots.

La durée complète d'une opération se divise de la manière suivante :

Introduction des 3 trucs et fermeture du cylindre.	15'
Passage de la vapeur.	25
Intervalle.	3
Durée du vide.	45
Remplissage du cylindre.	20
Élévation de la pression à 13 atmosphères.	12
Maintien de la pression entre 9 et 13 atmosphères.	30
Évacuation du liquide	24
Sortie des trucs.	10
Total.	3h 4'

La dissolution contient ordinairement 2 kil. de sulfate de cuivre pour 100 litres d'eau, et l'on a observé que la liqueur introduite dans le cylindre et celle qui s'en est écoulée après l'opération ont marqué à très-peu près le même degré à l'aréomètre ; ainsi on a trouvé que le poids du sulfate de cuivre n'avait diminué que de 0,013 de son poids primitif.

Les avantages de ce procédé sur celui de M. Boucherie sont :

1° Que le temps écoulé entre l'abatage et la mise en préparation n'a pas d'influence sensible sur la pénétration du liquide antiseptique ;

2° Que les bois équarris se préparent aussi bien et même mieux que les bois en grume, ce qui évite une perte de près du quart du bois préparé ;

3° Que le cœur du bois se trouve imprégné à une profondeur suffisante pour former une enveloppe préservatrice. De plus encore on a observé que les bois en grume se fendillent bien plus facilement que les bois débités, et que le sciage des bois préparés est beaucoup plus difficile que celui des bois non imprégnés de sulfate de cuivre. Enfin la préparation revient à 8 francs environ par mètre cube de bois, soit 0f.73 par traverse ; au lieu qu'au chemin de fer du Nord, elle est revenue, par le procédé Boucherie, à 13f.236 par mètre cube, ou 1f.20 par traverse.

On estime qu'en France la préparation d'un mètre cube de bois revient à 16 ou 18f par l'huile créosotée, à 14 ou 15f par le procédé de M. Boucherie au sulfate de cuivre, et à 8f par le procédé de MM. Legé et Fleury. Il faudrait ajouter à ces prix les bénéfices de l'entrepreneur.

de quelques résultats obtenus par MM. Legé et Fleury, en opérant sur des traverses de différents bois.

	TEMPS APPROXIM. écoulé depuis		POIDS du mètre cube		LIQUEUR absorbée		SEL FIXÉ	
	l'abatage.	le débit.	avant injection.	après injection	par mèt. cub.	par 100 kil.	par mèt. cub.	par 100 kil.
			k	k	k	k	k	k
sec. .	2 ans	1 an	886.4	1003.1	116.7	13.46	2.334	0.263
frais .	8 jours	1 jour	1134.0	1159.0	25.0	2.40	0.500	0.048
ubier.	17 mois	3 mois	894.0	1071.0	177.0	19.7	3.540	0.394
au–								
. . .	3 mois	1 jour	1160.0	1276.0	116.0	10.00	2.320	0.200
. . .	3 ans	3 ans	683.9	1158.1	474.2	69.33	9.484	1.397
. . .	6 mois	1 jour	897.2	1138.0	240.8	26.83	4.816	0.537
. . .	1 mois	2 jours	870.0	1088.0	220.0	25.30	4.400	0.506
. . .	45 jours	1 jour	871.8	1061.5	189.7	21.75	3.794	0.435
s. . .	3 mois	2 mois	808.8	1191.0	382.2	47.2	7.643	0.946
. . .	1 an	11 mois	827.8	1237.2	409.4	49.4	8.189	0.989
. . .	6 mois	2 mois	589.0	1208.0	619.0	105.00	12.380	2.100
. . .	1 mois	1 jour	787.5	1005.4	217.9	27.6	4.357	0.553
. . .	1 an	1 jour	899.5	1016.8	117.3	13.0	2.347	0.261
. . .	1 an	1 jour	911.0	952.0	41.0	4.5	0.820	0.090
. . .	10 mois	1 jour	930.5	1166.0	235.5	25.3	4.709	0.506
. . .	15 jours	1 jour	924.5	1124.9	200.4	21.6	4.007	0.433
c . .	1 an	10 mois	579.0	1237.0	658.7	113.7	13.174	2.275
c . .	1 an	1 jour	535.7	1000.6	464.9	86.7	9.297	1.735
. . .	6 mois	2 mois	583.0	1044.0	461.0	79.0	9.220	1.580
cœur.	5 ans	5 ans	389.9	500.3	110.4	28.3	2.207	0.566
–sec.	»	»	454.0	559.0	105.0	23.0	2.100	0.460
s. . .	8 mois	»	967.0	1013.0	46.8	4.8	0.936	0.097

ences qui ont fourni les résultats du tableau précédent,

chêne, l'aubier sec ou frais s'injecte complétement, que le cœur
npregne pas d'une manière appréciable, et que le cœur sec s'injecte
ement.
noncer à l'injection du *châtaignier*.
d'*acacia* reste intact; l'aubier seul s'imprègne; il faut également re-
jecter ce bois.
se comporte comme le chêne.
s'injecte d'une manière homogène, à l'exception de quelques petits
e quelques veines de bois mort où les vaisseaux sont obstrués.
on du *hêtre* est très-complète; quoique moins abondante dans les par-
du bois et dans les nœuds, elle est partout apparente, sauf cependant,
s l'orme, pour quelques veines de bois mort, d'une teinte généralement
e que le reste. Les parties où un commencement d'échauffement ou de
sèche se manifeste absorbent un excès de dissolution.
on du *charme* s'opère exactement comme pour le hêtre, et qu'il en est
e *l'érable*, *sycomore*, du *platane* et de *l'aune*.
peuplier sec ou à demi-sec la pénétration est complète, quoique moins

homogène que dans le hêtre ; mais que le peuplier frais, dont l'eau de sève n'a pas eu le temps de s'évaporer, s'injecte mal ; le liquide séveux refoulé vers l'intérieur s'oppose à la pénétration de la dissolution ; il convient en général de n'injecter le peuplier que 3 ou 4 mois après l'abatage.

9° Que le *bouleau* se comporte à très-peu près comme le peuplier.

10° Que pour le *pin maritime*, le *pin Sylvestre* et le *sapin du Nord*, l'aubier s'injecte complétement ; que les 5 ou 6 premières enveloppes concentriques du cœur s'injectent également bien ; mais que les couches plus centrales du cœur paraissent entièrement réfractaires, plus même que le cœur de chêne.

Voici comment MM. Legé et Fleury établissent le prix de revient de la préparation des traverses de chemin de fer.

1° Par leur procédé en faisant par jour 4 charges du cylindre, de chacune 114 traverses cubant ensemble 11m.60 ; soit 456 traverses préparées par jour.

12 hommes à la charge et à la décharge, à 2f.50 par jour.	30f
Un chauffeur.	5
Un conducteur de chantier.	6
Chauffage de la machine.	20
Entretien et graissage.	5
Sulfate de cuivre, 256 kil. à 0f.90, à raison de 5k.50 par mètre cube.	230,40
Amortissement en 10 ans, à 5 p. 100, d'une somme de 64 000 fr., représentant la valeur des appareils, par jour de travail, à raison de 300 jours par an.	27,50
Total.	323,90
Soit par mètre cube.	6,95

2° Par le procédé de M. Boucherie, pour un mètre cube.

Main-d'œuvre pour mise en préparation.	4f
Sulfate de cuivre, y compris la perte, 6 kil. à 0f.90 l'un, rendu sur le chantier..	5,40
Construction et entretien du chantier, amortissement en 10 ans, à 5 p. 100 de la valeur 4 000 fr. du chantier, location du terrain.	1,50
Frais généraux.	1
Total.	11,90

3° Enfin on évalue ordinairement le prix de revient de l'injection du mètre cube à l'huile créosotée à 16 fr.

464. *Coussinets et éclisses.* Les coussinets doivent être parfaitement conformes au modèle approuvé par la compagnie du chemin de fer (472). Ce modèle doit coïncider exactement avec les faces du rail, avec lesquelles il doit être en contact, et, afin que tous les coussinets jouissent de la même propriété, il convient de les mouler avec un modèle métallique bien dressé et bien ajusté sur le rail ; c'est ainsi que MM. Ransome et May, fondeurs d'Ipswich, ont moulé les coussinets du chemin de Londres à Douvres, d'après le modèle de M. W. Cubitt. Ces ingénieurs ont placé les trous des chevillettes

ême ligne normale à l'axe du coussinet, afin qu'il y ait
ance à fendre les traverses en enfonçant les chevil-
sposition a été employée au chemin d'Amiens à Bou-
a arrondi les extrémités du patin, qui n'est pas alors

ricant a coulé un certain nombre de coussinets, il les
nieur en chef, qui indique s'il y a des modifications à
est que quand cet ingénieur a reconnu par écrit que
s sont parfaitement conformes au type, que la fabrica-
ıencer.

en contact avec le coussinet par toute sa face infé-
a face non située du côté du coin ne porte souvent
du coussinet qu'à la partie inférieure, et sur une hau-
nviron à la partie supérieure. Le coin est placé sur
ıre du rail par rapport à la voie; celle-ci en est rendue
pour résister aux chocs des rebords des roues qui
la face intérieure du rail.

ets doivent être en fonte grise, à grain serré et tenace;
exempts de soufflures, gouttes froides et autres défauts
e. La fonte doit être de première qualité, douce à la lime,
s, serré et homogène, et non sujette à tasser; elle doit
douce et nerveuse; elle doit prendre peu de retrait à
our la résistance, être égale aux meilleures fontes em-
ulage, quelle qu'en soit l'origine. Toute fonte blanche
truitée doit être rejetée.

ets doivent avoir la surface inférieure du patin parfai-
Les surfaces de contact avec le rail et le coin doivent
ent lisses et régulières. Ces surfaces doivent s'adapter
au rail et au coin, et donner rigoureusement au rail
n de 1/20 par rapport au plan de la semelle. Les trous
ivent présenter exactement les formes et dimensions
fin les coussinets doivent, à tous égards, être fabriqués
rand soin; les surfaces doivent être nettes et unies, les
ues à la lime et les bords ébarbés. On refuse tous les
présentent des gouttes froides, des soufflures, des aval-
angles rentrants, des tassements, ainsi que ceux dont
angles présentent des parties blanches.

ets doivent porter deux marques distinctes, venues de
faces latérales de la semelle, l'une désignant l'usine et
de la fabrication.

admise pour le poids des coussinets est la même que
si ce n'est qu'ordinairement on accorde 3 p. 100 en
ins.

d'obtenir une marche régulière d'un haut-fourneau,

et, par suite, des produits toujours d'une bonne qualité, devrait faire employer, comme aux chemins de fer de Saint-Germain, de Versailles (rive gauche et rive droite) et d'Orléans, que de la fonte de seconde fusion; cependant le gouvernement français, à l'imitation du gouvernement belge, a admis pour les chemins de fer de l'État les coussinets de fonte de première fusion aussi bien que ceux de seconde fusion. La fonte au bois ayant les qualités requises peut être employée en première fusion; celle au coke est généralement de seconde fusion.

On juge de la qualité des coussinets en en cassant quelques-uns au hasard dans chaque fourniture; mais, comme il est à craindre qu'on ne les coule avec des fontes provenant de hauts-fourneaux marchant à l'air chaud, qui, quoique d'une faible ténacité, présentent un grain satisfaisant, le gouvernement prescrit, avec raison, des essais à faire sur la fonte qui sert à les couler. A cet effet, on coule fréquemment avec cette fonte des tiges terminées à chaque extrémité par un anneau, et après leur avoir donné exactement au tour un diamètre de 0m,01, on les suspend à un point fixe par un de leurs anneaux, dont l'autre sert à suspendre les poids. La charge de rupture ne doit pas être inférieure à 1300 kil. par centimètre carré; on a même exigé quelquefois 1500 kil. (232).

En outre de l'essai précédent, qui assure de la ténacité de la fonte, on vérifie encore si elle résiste bien aux chocs, et cela en opérant sur les coussinets mêmes. Les coussinets de chaque coulée sont mis en un tas distinct, et l'agent réceptionnaire en choisit 10 au hasard dans chaque tas pour les soumettre à l'épreuve, qui consiste à poser le coussinet, la table renversée, sur deux points d'appui correspondant aux axes des trous des chevillettes, et à laisser tomber, sur son milieu, un mouton d'au moins 30 kil. terminé inférieurement en demi-sphère. Les points d'appui du coussinet sont formés par deux saillies faisant corps avec une enclume, venue de fonte, du poids de 500 kil. au moins. Le mouton, guidé par 2 montants, tombe verticalement avec le moins de ballottement et de frottement possible. Les 1er, 2e, 3e... coups de mouton correspondent à 0m,30, 0m,35, 0m,40... de hauteur de chute, jusqu'à la rupture. Si à la hauteur de 0m,30 un seul coussinet sur 10 se brise, toute la coulée est rebutée. Si à 0m,35 moins de trois coussinets se brisent, la coulée est acceptée; elle est rebutée s'il y a plus de 3 coussinets brisés, et si ce nombre est 3, l'épreuve pourra être recommencée, à la demande du fournisseur. Si sur ces 10 pièces nouvelles, une se brise à 0m,30, ou 3 à 0m,35, la coulée est définitivement refusée; elle est, au contraire, acceptée, si moins de trois se brisent à 0m,35 après avoir résisté à 0m,30.

Enfin on peut encore essayer les coussinets, non par chocs, mais par une simple pression, qui ne doit pas être inférieure à 3000 kil.

précédentes des efforts d'essai sont celles usitées pour intermédiaires ordinairement en usage aujourd'hui; être modifiées avec les dimensions et le modèle des

ur peut, d'ailleurs, avant chaque coulée, préparer, fusion, 4 barreaux d'essai, que l'on pourra soumettre par choc ou par compression.

provisoire a lieu à l'usine par un ou plusieurs agents e, au fur et à mesure de la fabrication et par coulée. reçus sont poinçonnés sur la face d'appui du rail ou Les agents de la compagnie sont en outre chargés de ur et de nuit la fabrication des coussinets; ils en font ge si l'allure du haut-fourneau se dérange. Malgré la ine, les coussinets qui, pendant le transport, avant ou , viendraient à se casser ou à se détériorer, ainsi que ant 3 ans, à partir de la réception à l'usine, se cassede défauts dans la qualité de la fonte ou de vices dans eront rendus, sur l'un des lieux de livraison, au fourdevra tenir compte à la compagnie au prix du marché, r si la compagnie l'exige.

de fer de Saint-Germain, de Versailles et d'Orléans, fournis en grande partie par l'usine de Fourchamé de 300 à 340 fr. la tonne de 1000 kilog. rendue à

in de fer de Versailles à Chartres (1847), la fourniture sinets, divisés en 4 lots, a été adjugée : les 1er et 3e lots, le Montataire (Oise), aux prix de 208^{f},40 et 215 fr. la ir la ligne; le 2e lot, à M. Gendarme, de Charleville (Ar- de 224^{f},90; et le 4e, à M. Lemonissen, de Saint-Dizier au prix de 222^{f},35.

la ligne de Mulhouse, les coussinets ont coûté 200 fr.

***TABLEAU** des poids et dimensions principales des coussinets de quelques chemins de [illegible]*
(tableau page 638) (*).

COUSSINETS.		PARIS à Orléans.	PARIS à Rouen.	DU NORD.	MONTEREAU à Troyes.	[illegible]
Poids du coussinet.	intermédiaire.	9k.20	9k.50	8k.50	8k.00	[illegible]
	de joint.	»	»	11 .35	11 .30	[illegible]
Patin.	Longueur, suivant celle du rail. de joint.	0m.104	0m.116	0m.105	0m.110	[illegible]
	Longueur, suivant celle du rail. interm. .	»	»	0 .130	0 .133	[illegible]
	Largeur, suivant celle du rail.	0 .245	0 .240	0 .250	0 .305b	[illegible]
	Épaisseur entre les deux nervures, aux trous des chevillettes g.	0 .033	0 .030	0 .030	0 .037	[illegible]
	Épaisseur sous le rail.	0 .045	0 .042	0 .040	0 .044	[illegible]
Joue intérieure.	Épaisseur au bas.	0 .020	0 .020	0 .018	0 .022	[illegible]
	Épaisseur en haut.	0 .010	0 .016	0 .016	0 .015	[illegible]
Joue extérieure.	Épaisseur au bas.	0 .027	0 .032	0 .019	»	[illegible]
	Épaisseur en haut.	0 .011	0 .016	0 .015	»	[illegible]
	Hauteur, depuis le dessous du patin i.	0 .130	0 .132	0 .130	0 .135	0 .135
Section transversale des coins.	Dimension maxima horizontale	0 .045	0 .045	0 .054	0 .047	[illegible]
	Dimension maxima verticale. .	0 .073	0 .054	0 .068	0 .060	[illegible]
Trous des chevillettes.	Diamètre en haut	0 .020	0 .021	moyen.	0 .030n	[illegible]
	Diamètre au bas.	0 .019	0 .019	0 .020	0 .0305	[illegible]
Longueur moyenne des joues ou de la surface de serrage (suivant la longueur du rail). .		0 .075	0 .088	0 .079	0 .070	[illegible]
Id. pour le coussinet de joint.		»	»	0 .105	0 .100	[illegible]
Ouverture horizontale entre les parties supérieures des joues.		0 .06	0 .065	0 .061	0 .054	[illegible]
Hauteur totale du dessus du rail au-dessous du patin.		0 .159	0 .169	0 .155	0 .160	[illegible]

(*) A l'exception des dimensions suivant la longueur du rail, toutes les [illegible] les mêmes, ou à peu près, pour les coussinets de joint que pour les coussinets [illegible]diaires.

a cette longueur 0m.15 ne subsiste qu'au milieu du coussinet sur une [illegible] 0m.14 ; aux extrémités, la longueur est égale à celle uniforme 0m.11 du [illegible]net intermédiaire ;

b ce patin n'est pas rectangulaire ; il est à peu près demi-circulaire aux extr[illegible]

g quelquefois cette épaisseur n'existe qu'à l'emplacement des trous, et on la [illegible] un peu ailleurs, de manière à avoir une rondelle en saillie autour de [illegible] chaque trou. Sur le chemin de Montereau à Troyes, le dessous du patin est [illegible] fouillé, de manière qu'il ne repose sur la traverse que par une bande qui [illegible] sur tout son pourtour. Cette disposition a été également employée sur les [illegible]mins de fer d'Amiens à Boulogne et de Fampoux à Hazebrouck ;

h le coin est du côté de la nervure la moins élevée ;

i la joue intérieure est de 0m.01 environ moins élevée que la joue extérieure, [illegible] qu'elle ne touche pas aux rebords des roues ; elle est également élevée au ch[illegible] de Paris à Rouen. Chaque joue intérieure et extérieure est contenue par [illegible] nervures qui s'élèvent jusqu'à sa partie supérieure ;

n les chevillettes sont en bois.

Les dimensions données pour le patin sont prises pour la face inférieure ; les bords [illegible]térales sont inclinées de manière à réduire les dimensions de la face supérieure, de [illegible] quelle partent les joues et les nervures, qui vont un peu en s'amincissant de bas en [illegible]

s lignes d'Angleterre, on emploie des coussinets dont
jusqu'à 18 kilog.

Fampoux étant attribué par plusieurs personnes à
coin dans l'un des coussinets de joint, M. Edwards,
n chef du matériel du chemin de fer de Paris à Stras-
iné de placer au joint un coin supplémentaire en fer.

Dans la figure 72, qui représente, à l'échelle de 1/8, la coupe et le plan d'un coussinet intermédiaire, la partie non hachée est la modification apportée pour le coussinet de joint.

b ergot venu à la fonte aux extrémités duquel sont des nervures également venues à la fonte;

a coin ou prisonnier en fer que l'on enfonce entre le rail et l'ergot, et qui est maintenu latéralement par les nervures de l'ergot.

Depuis quelque temps, on fait beau-
clisses. Ce sont deux barres de fer laminé que l'on
aque côté des rails, et qui servent à amener et à main-
urement les extrémités voisines des rails. Ces éclisses
0m,45 de longueur; elles sont réunies par 4 boulons
mètre, qui traversent les rails; leurs trous sont ova-
dans les rails, afin de permettre la dilatation. Avec
n, il n'y a plus de coussinets aux joints; mais on a soin
e de 0m,70 à 0m,80 les coussinets qui en sont voisins. La
pèse 9k,50 environ. Quelquefois les éclisses forment
oints; elles sont encore en fer laminé, et chacune porte
n. 4 chevillettes à crochet, deux de chaque côté du
lui-ci sur la traverse.

otage des traverses, opération qui consiste à y fixer les
it être fait avec le plus grand soin. On fait pour cela
arit formé d'une barre de fer aux extrémités de la-
par des vis deux bouts de rails occupant exactement,
rt à l'autre, la même position que les rails de la voie;
, au moyen de coins, les deux coussinets à ces deux
n pose le gabarit sur la traverse, on trace les entailles
cevoir les coussinets, et on exécute ces entailles, que
jusqu'à ce que les semelles reposent bien exactement
. On perce alors les trous des chevillettes, on enfonce
nlève le gabarit. Les trous des chevillettes ont 0m,09 de
les perce avec des tarières dont le diamètre est de 0m,002
celui des chevillettes. Le sabotage est fait en chantier,

afin de pouvoir mieux surveiller les ouvriers ; on a quelquefois transporté les traverses brutes sur la voie, et on les a sabotées en place.

Il ne doit pas rester d'aubier sous le patin. Il y a quelques années, c'était par les entailles que l'on donnait au rail l'inclinaison de 1/20 qu'il doit avoir vers l'intérieur de la voie. Aujourd'hui, cette inclinaison s'obtient par l'assemblage du rail dans le coussinet.

406. *Chevillettes.* Elles sont en fer de bonne qualité, doux et nerveux, analogue à celui des câbles en fer de la marine. La tête doit être refoulée, et non rapportée et soudée; elle sauterait quand on la frappe avec la masse pour enfoncer la chevillette ; il convient même, à l'essai, de la frapper avec le marteau en cherchant à la faire sauter. Une petite entaille pratiquée sur la tête indique la direction du tranchant de la pointe.

L'épreuve pour la réception des chevillettes est faite contradictoirement sur une portion de la fourniture déterminée par l'ingénieur de la compagnie ou ses agents. Cette épreuve consiste à enfoncer verticalement, à l'aide de la masse, la chevillette dans un bloc de chêne jusqu'à moitié de sa longueur ; à la frapper latéralement dans sa partie supérieure de manière à lui faire faire un angle de 45° avec la verticale ; enfin, à la retirer du bloc et à la redresser à froid. Lorsque le dixième des chevillettes soumises à cette épreuve s'est cassé ou simplement détérioré, la fourniture est refusée. Les avant-trous percés dans le bloc de chêne ont un diamètre de 4 millim. inférieur à celui des chevillettes, et chaque trou préparé ne peut servir que pour une épreuve. Les chevillettes essayées ne peuvent pas faire partie de la fourniture ; elles sont rendues au fabricant.

La fig. 73 représente au 1/5 la chevillette du chemin de fer de Paris à Strasbourg.

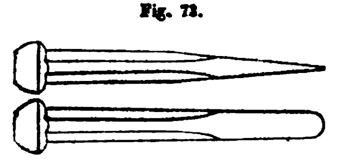


Fig. 73.

Extrait du cahier des charges pour le chemin de fer de Paris à Strasbourg. Les formes et dimensions des chevilles seront exactement conformes aux modèles poinçonnés qui seront remis au fournisseur par la compagnie.

Le poids de la cheville, qui doit être de $0^{k},300$, sera constaté contradictoirement aussitôt après la fabrication des premières chevilles.

A la réception, il sera accordé sur ce poids constaté une tolérance de 2 pour 100 en plus ou en moins sur chaque cheville ; mais la fourniture totale ne devra pas s'écarter de plus de 1 pour 100 du poids de 300 gr. par cheville. Dans ces limites, la compagnie payera le poids réel ; l'excédant, s'il y en a, ne sera pas payé au fournisseur.

Il ne sera accordé aucune tolérance, ni en plus ni en moins, sur le diamètre des 5 premiers centimètres de la longueur de la cheville, immédiatement sous la tête de la cheville.

Deux gabarits en acier trempés et poinçonnés par la compagnie seront remis aux fournisseurs. Toute cheville qui n'entrera pas jusqu'à la tête dans le plus grand, ainsi que toutes celles qui entreront jusqu'à la tête dans le plus petit, seront rejetées.

es chevilles seront en fer de bonne qualité, doux et nerveux. La tête sera refoulée s la masse et non rapportée.

'épreuve consistera à enfoncer la chevillette dans un bloc de chêne jusqu'à la moitié a longueur, et à frapper latéralement dans la partie supérieure, de manière à lui e faire un angle de 45° avec la partie verticale enfoncée dans le bloc. Lorsqu'un ème des chevilles soumises à cette épreuve aura cassé, ou aura été détérioré, la lité de la fourniture présentée pourra être refusée.

utre les chevilles rebutées à leur réception à l'usine, celles qui, à l'emploi, seront nnues inadmissibles, ou par défaut de qualité, ou par excès de dimensions, seront tées et remplacées par le fournisseur et à ses frais.

a fourniture de 150 000 chevillettes, pour le chemin de Paris à mes, a été adjugée à M. Leclerc, de Valenciennes, au prix de fr. la tonne.

'oxydation est un grave inconvénient des chevillettes en fer. Au min de fer de Manchester à Liverpool, après un service de plu- urs années, une chevillette, qui dans l'origine avait 0m,019 de dia- re, a été réduite à 0m,009 seulement, tandis que le diamètre du ı du coussinet s'est agrandi de 4 millimètres; on conçoit combien 14 millimètres de jeu devaient rendre faciles les vibrations de la et hâter la destruction du matériel.

our le chemin de Londres à Douvres, MM. Ransome et May ont placé les chevillettes en fer par celles en bois, taillées suivant fibres dans des morceaux de cœur de chêne. On commence par r donner, sur le tour, des dimensions plus grandes que celles elles doivent avoir une fois terminées; puis on les force dans des ules en fonte dont les dimensions intérieures sont celles des che- ettes préparées, et ainsi emprisonnées, on les expose pendant demi-heure à l'action de la vapeur, à une température suffisante ur opérer une espèce de fusion de la résine et de la sève que con- nt le bois; enfin, laissant refroidir le moule, le bois a acquis une mpression presque permanente, et il n'offre plus les inconvénients gonflement et de contraction suivant les circonstances atmosphé- ues comme les chevillettes ordinaires en bois.

Par la compression, le volume de ces chevillettes est réduit à pour 100 de son volume primitif, et la force transversale a aug- nté de 50 pour 100.

La tige de ces chevillettes est un tronc de cône dont le diamètre son extrémité est de 0m,001 plus grand que près de la tête; par là, n'y a pas tendance à ce qu'elle sorte de la traverse. La tête est aussi tronc de cône qui se loge dans le trou du coussinet, et dont le tit diamètre est égal au plus petit de la tige.

En France, on a fait usage des chevillettes comprimées en bois pour s chemins de Tours à Nantes et de Gray à Blesmes; sur le chemin de ontereau à Troyes, des chevillettes en bois se sont, pour la plupart, ourries et rompues à la jonction du coussinet et de la traverse.

467. *Coins.* On les fait en chêne ou en acacia. Ils doivent être d'un modèle bien choisi, et fabriqués à la machine ou par des moyens de précision tels qu'ils aient tous la même forme et la même conicité, de manière à porter également sur toute l'étendue du rail et du coussinet, avec lesquels ils doivent s'adapter parfaitement. Leurs faces doivent être lisses et bien nettes; tout coin dont la surface est rugueuse ou qui contient de l'aubier doit être rebuté. Le chêne employé doit être de première qualité, à fibres serrées, ni gras, ni gélif, ni échauffé, et exempt de nœuds, roulures et de tout autre défaut; il doit être abattu depuis 2 ans au moins et parfaitement sec; il doit être débité de droit fil, non à la scie, qui couperait les fibres longitudinales; on le fend, et comme alors il n'a pas des formes assez régulières pour être passé au rabot, on obtient une bonne préparation en forçant le coin à coups de marteau dans une matrice en fer, dont le bord tranchant lui donne une forme qui approche de celle qu'il doit avoir définitivement.

On emploie généralement en Angleterre des machines pour la fabrication des coins. Avec de bonnes machines, on fabrique quatre coins par minute. La façon seule se paye 50 fr. par 1000 coins. Une machine de ce genre coûte 1750 a 1875 fr.

La fourniture de 75 000 coins, pour le chemin de Rennes, a été adjugée à M. Corpazen, de Chelles, au prix de 140 fr. le mille.

Les coins ont de 0m,25 à 0m,28 de longueur. Le tableau page 6.. donne les dimensions de leur section transversale moyenne sur quelques chemins.

Extrait du cahier des charges, chemin de Strasbourg. Les coins auront 0m,2. de longueur, 0m,06 de hauteur et environ 0m,05 d'épaisseur. Leurs faces supérieures et inférieures seront planes et parallèles ; leurs faces latérales seront courbes et auront exactement le profil indiqué par le dessin approuvé par la compagnie, qui sera remis au fournisseur, revêtu de la signature de l'ingénieur en chef du matériel.

Les dimensions de la petite base du coin seront telles qu'il entrera, à la main de 3 centimètres dans le gabarit poinçonné par la compagnie, qui sera remis au fournisseur; l'extrémité du coin ainsi présenté devra remplir exactement l'orifice du gabarit.

L'épaisseur de la grande base du coin sera de 8 millimètres plus forte que celle de la petite base.

Les coins seront en bois essence de chêne, ou d'acacia, compacte et bien sec. Ils seront sains, exempts de tous nœuds, roulures, gerçures, piqûres, etc., sans aubier ni bois blanc; ceux qui présenteraient des flaches ou auraient été entaillés seraient rejetés.

Les coins seront taillés ou refendus de fil, dans le cœur du bois, et non débités à la scie. La dernière forme, celle exacte du dessin et modèle poinçonné, sera donnée au rabot.

Les coins qui seraient rebutés à la réception, ou pendant la pose, devraient être immédiatement remplacés par le fournisseur ou à ses frais.

468. *Rails*, A longueur égale, les rails en fer coûtent moins que ceux en fonte; cela tient à ce que le fer employé à leur fabrication est de deuxième qualité, au lieu que la fonte doit être de première qualité. De plus, les rails en fer résistent mieux aux chocs et aussi

ses de destruction atmosphériques que ceux en fonte, fois la croûte dure qui les recouvre usée, sont promp-its.

r des rails en fonte n'a jamais dépassé 1^{m},20 ; celle des ait le plus souvent de 4^{m},50 ; on l'a portée à 4^{m},80 pour Rouen et à 5^{m},50 pour celui de Vierzon, et elle est de ils à coussinets des chemins construits dans ces der-, avec un poids de 37 à 42 kil. par mètre courant. Au lhouse, les rails à simple champignon ont 6^{m} de lon-de hauteur, 0^{m},065 de largeur au champignon et 0^{m},020 coussinets ou traverses sont uniformément espacés de axe. Comme rail Vignolles ou à patin, le modèle du ord, qui est considéré comme le mieux étudié, et qui a le chemin de l'Ouest suisse, a 6^{m},00 de longueur, iteur, 0^{m},062 de largeur au champignon et 0^{m},017 au 37 Kil. par mètre courant, et il repose sur 7 traverses. , on prescrit de ne pas dépasser 0^{m},117 pour la hauteur ses larges, tandis que l'on peut aller à 0^{m},125 pour les nets; de plus, on trouve que le poids de 34 kil. par it est suffisant pour ces derniers rails, mais qu'il doit 7^{k},5 pour les rails à patin.

a nécessité d'employer des traverses en pin ou en sapin, donner la préférence aux rails à coussinets sur ceux à

des rails en fer était ordinairement celle de deux champignons placés aux extrémités d'une même tige. Quelquefois, comme l'indique la figure 74, qui donne le tracé de la coupe du rail de Paris à Strasbourg, les deux champignons sont tout à fait semblables, de sorte que, quand l'un est usé, on peut retourner le rail; mais alors le champignon usé coïncide mal avec le coussinet, et il devient difficile de rendre la voie bien unie et bien solide; il a même été constaté que des rails après 6 à 7 ans d'usage ne pouvaient plus être retournés sans dessus dessous sans se rompre assez promptement. Tout ce que l'on peut faire, c'est de retourner ces rails bout pour bout; ce que l'on peut du reste faire avec les rails dont le patin ou inférieur est symétrique par rapport à l'axe du rail sans champignon supérieur. Sur les chemins récents, d'Avi-eille, de Mulhouse, du Grand Central et Piémontais, on rails à simple champignon. En Allemagne, on emploie usivement le rail de M. Vignolles, dit *rail américain*, ou

rail à patin, dans lequel le champignon inférieur est remplacé par un large patin ou semelle, qui repose directement sur la traverse, à laquelle il est fixé par des crampons ou des vis, sans coussinets. On l'a adopté sur quelques lignes françaises, et sur les chemins suisses. Enfin, on a quelquefois remplacé le patin ou champignon inférieur par un simple bourrelet, et on a même fait des rails sans champignon inférieur ni bourrelet (Consulter le tableau page 638).

Les anciens rails étaient à champignon bombé ; puis on les a abandonnés pour faire leur face supérieure plane, plus ou moins arrondie sur les bords ; et pour les chemins construits depuis environ 18 ans, on a donné la préférence à la première forme de champignon. Pour les rails Vignolles du chemin du Nord, le rayon du bombement est de 0m,20 ; le champignon ayant 0m,029 de largeur entre les deux extrémités de l'arc, la flèche du bombement est de 0m,0005.

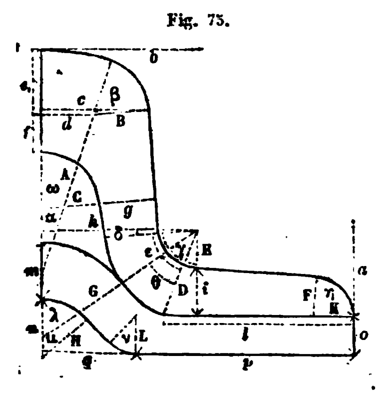
Dans les rails Vignolles les plus nouveaux, on a rendu l'épaulement du champignon horizontal ; d'où il résulte que celui-ci affecte une forme presque rectangulaire. Au chemin du Nord, où ce rail est employé aujourd'hui, le champignon n'est pas entièrement plat en dessous, il est légèrement incliné, en sorte que l'éclisse le touche par une surface plane. Comme on a ménagé sur le patin une surface plane de même inclinaison, l'éclisse est symétrique, ce qui facilite la pose.

Au chemin de fer d'Auteuil, on a employé partout le rail Brunel, fig. 75, excepté aux changements et croisements de voies, où l'on a mis le rail à double champignon et les aiguilles ordinaires.

La compagnie des chemins de fer du Midi a adopté le rail Brunel pour la ligne de Bordeaux à Bayonne, parce que ce rail repose sur longrine, et que le sapin des Landes ne coûte que 55 fr. le stère : on l'emploie aussi pour les voies de garage, les remises et les gares.

La fig. 75 représente la moitié de la coupe du rail Brunel et de sa selle à l'échelle de 1/2.

Fig. 75.



	Du rail.	De la selle.
Section. . . .	0m,003856	0m,[illegible]
Poids par mètre courant. . .	30k,00	15k,[illegible]
Longueur. . .	6m,00	0m,[illegible]
Poids.	180k,00	6k,[illegible]

Dimensions en millimètres : $a = 7$[illegible], $b = 83.5$, $c = 29$, $d = 14$, $e = 17.25$, $f = 9.75$, $e + f = 27$, $g = 15$, $h = 31$, $i = 13$, $k = 40.75$, $l = 52$, $m = 15$, $n = 14.25$, $m + n = 29.25$, $o = 14$, $p = 58.25$, $q = 25$.

Rayons des raccordements en millimètres : A = 60, B = 15, C = 15.[illegible], D = 25, E = 10, F = 11, G = 25, H = 15, L = 10.

Angles des raccordements : $\alpha = 15°15'$,

°30′, $\delta = 3°50'$, $\epsilon = 63°40'$, $\eta = 86°$, $\theta = 31°15'$. $\lambda = 55°$, $\mu = 43°$,

rails sont réunies, de 3 en 3 mètres, aux joints des lon-
ux des rails, par des traverses en bois; les joints des
ent aux milieux des pièces formant les longrines; ces
nètres de longueur comme les rails.
rémité de rail est fixée à la selle par 4 rivets de 18 millim.
t de 50 millim. de longueur de tige avant la rivure, et un
millim. de diamètre de tige, placé alternativement à
uche du rail, près des selles et tous les 0m,50 de longueur
le rail sur la longrine (page 642).
nde ligne du Midi, on ne devait employer que le rail
l ne contenant aucune partie en bois, promet une grande
a difficulté de se procurer de bons rails de ce système
a fait usage que de Bordeaux à Toulouse. La fig. 76 re-
oitié de la coupe de ce rail et de sa selle à l'échelle de 1/4.

Fig. 76.

	Du rail.	De la selle
Section.	0m,005784	0m,004080
Poids par mètre courant. . . .	45k,00	31k,742
Longueur. . . .	5m,00	0m,60
Poids.	225k,00	19k,043

Dimensions en millimètres : $a = 115$, $b = 10$, $a + b = 125$, $c = 1.5$, $d = 9$, $e = 150$, $f = 29$, $g = 17$, $h = 15$, $h + g = 32$, $l = 14$, $m = 33$, $n = 13$, $o = 10$, $p = 120.25$, $q = 118$, $r = 22.75$, $s = 24.25$, la partie droite $t = 36.25$ pour le dessus du rail, 38.75 pour le dessous; 39.25 pour le dessus de la selle, et 41 pour le des-
parties droites sont inclinées au 1/15; $u = 22$, $v = 11$, $x = d = 9$.
cordements en millimètres : A = 60, B = 15.25, C = 88.25, D = 50,
0. Pour la selle, on a : A = 50. B = 13, C = 104.25, F = 111.50,
adis des extrémités des lèvres ont 2 millim. de rayon.
accordements : $\alpha = 18°20'$ $\beta = 62°$, $\gamma = 65°$, $\delta = 76°20'$, $\epsilon = 7°$,
la selle, on a : $\alpha = 7°30'$, $\beta = 63°45'$, $\gamma = 58°$, $\delta = 67°$; l'angle
la verticale est de 61°55′.

ow repose directement sur le ballast; mais on dame bien
le rail, qu'on incline au 1/20 vers l'axe de la voie. Les
placées qu'aux joints des rails, 12 rivets, dont la tige
de diamètre, et 60 millim. de longueur avant la rivure,
rémités des deux rails sur la selle, en amenant les lèvres
out en assurant la superposition du haut du rail sur la
tretoise en fer placée à coté de la selle et fixée au rail par
elie les deux files de rail. Ces entretoises sont des cor-
millim. d'épaisseur moyenne, et de 100 millim. dans un

sens et 65 millim. dans l'autre ; leur longueur est $1^{m},85$, leur section $0^{mq},002$, et leur poids $29^{k},202$.

Des expériences ont été faites à l'usine de Decazeville dans le but de comparer les résistances des rails à double et à simple champignon. Les résultats se sont accordés avec la théorie pour donner, à poids égaux, l'avantage aux rails à double champignon, contrairement à l'opinion de M. Barlow. Cependant le rail à simple champignon, ou plutôt à double champignon, mais dont l'un est petit et ne sert qu'à fixer le rail, a la préférence aujourd'hui. Des modèles de cette espèce ont été adoptés pour les lignes importantes, entre autres les cinq dernières du tableau page 638.

Si l'on considérait un rail comme un solide encastré par ses deux extrémités, ce qui aurait lieu si les coussinets étaient parfaitement fixes et maintenaient bien horizontales les parties encastrées, on pourrait calculer ses dimensions à l'aide de la formule $\frac{RI}{n} = \frac{PL}{8}$ du n° 246, dans laquelle on remplacerait I et n par les valeurs qui conviennent à la section du rail (pages 294 et suivantes). On peut, jusqu'à un certain point, considérer le rail comme étant encastré pour les parties qui ne correspondent pas à un joint ; mais les parties qui y correspondent ne peuvent être considérées que comme un solide encastré par une extrémité et reposant librement sur un appui par l'autre : de sorte que, pour déterminer ses dimensions, il faudrait faire usage des formules du n° 245, dans lesquelles I et n auraient, comme ci-dessus, les valeurs qui conviennent à la section du rail. La résistance étant plus faible dans ce dernier cas que dans le premier (245 et 246), comme la section du rail est partout uniforme, quelques ingénieurs ont moins écarté les coussinets des joints de leurs voisins que ne le sont les autres entre eux. (Observations du tableau page 638.)

Non-seulement il faut que les rails ne se rompent pas sous les charges qu'ils supportent, mais aussi que leurs vibrations ne soient pas trop fortes. On conçoit qu'il est impossible de tenir compte analytiquement de toutes les circonstances dans lesquelles se trouvent les rails pour résister, circonstances qui sont encore compliquées par le mouvement de la charge, et qu'il n'y a que la pratique qui pourra conduire aux formes et aux dimensions les plus convenables à donner aux rails.

D'après les expériences faites, il y a quelques années, par le docteur Barlow, à l'aide d'un déflectomètre de son invention, avec des blocs ou des traverses fermes, des coussinets bien fixés et des joints bien faits, la route elle-même étant solide, le rail est seulement fléchi, à la plus grande vitesse, d'une quantité très-peu supérieure à celle due à une charge en repos égale à la moitié du poids sur les deux roues, mais que, par suite de l'imperfection de ces parties, l'effort peut quel-

oduire une flèche environ double de celle due à la charge n. Il s'ensuit que, jusqu'à ce qu'une plus grande perfection obtenue dans les rail-ways, on doit adopter une force de que double de celle nécessaire pour supporter les ma- repos. M. Barlow estime qu'une augmentation de 10 à 0 au-dessus du double est suffisante, c'est-à-dire que pour machine à 6 roues de 12 tonnes, comme le poids est dis- rail résistant à 7 tonnes serait grandement suffisant, et plus grand soin de construction, tel qu'on doit l'attendre t, on pourrait, pour cette même force de rail, employer sécurité des machines de 14 à 16 tonnes.

les expériences faites à l'usine de Decazeville sur la résistance des rails de fer de Paris à Orléans. Le poids du mètre courant de rail était de rail reposait sur deux appuis de 0m.05 de largeur, écartés de 1m.25 d'axe charge était appliquée au milieu, sur une largeur de 0m.07 (extrait de la e de MM. Flachat, Petiet et Barrault).

RAILS vec riblons et fin-métal.		RAILS en fin-métal pur.		RAILS avec fonte au bois et fin-métal.	
Flèche.	Flèche conservée, la charge étant enlevée.	Flèche.	Flèche conservée, la charge étant enlevée.	Flèche.	Flèche conservée, la charge étant enlevée.
m	m	m	m	m	m
0.0015	0.0000	0.0010	0.0000	0.0010	0.0000
0.0020	0.0000	0.0015	0.0000	0.0015	0.0000
0.0025	0.0000	0.0020	0.0000	0.0025	0.0000
0.0035	0.0000	0.0040	0.0000	0.0045	0.0000
0.0050	0.0000	0.0055	0.0000	0.0060	0.0000
0.0065	0.0010	0.0070	0.0015	0.0080	0.0020
0.0085	0.0020	0.0090	0.0030	0.0105	0.0035

ériences de ce tableau ont été faites avec un appareil qui de laisser agir la charge autant de temps qu'on le désirait, ever ensuite pour reconnaître jusqu'à quelle limite le rail, r fléchi, pouvait revenir sur lui-même par son élasticité. te est entre 14 et 15 tonnes; au delà, le rail fléchit sans re- nnement sur lui-même. Les nombres du tableau sont des d'expériences faites sur des rails du chemin de fer de Paris dont les couvertures (assises supérieure et inférieure des 71) étaient faites, les premières avec un mélange de fin- riblons, les secondes avec du fin-métal pur, les troisièmes élange de fin-métal et de fonte au bois, celle-ci remplaçant s (472).

chines sont un peu plus puissantes, la vitesse moyenne est d
18 lieues.

On emploie sur quelques chemins de très-puissantes machines p
sant jusqu'à 26 tonnes et plus. Elles sont utiles pour gravir de for
pentes; mais elles ne seraient pas avantageuses pour traîner
plaine de très-fortes charges. L'expérience a prouvé qu'il ne conv
pas de composer un convoi de marchandises de plus de 40 wago
Les convois trop longs éprouvent une très-grande résistance d
les courbes et sont difficiles à manœuvrer dans les gares.

Aujourd'hui, on commence à faire usage de la machine-tende
10 roues, système Engerth, qui pèse 50 tonnes vide et 64 en charg
et qui remorque 500 tonnes de poids utile. Comme il y a 8 roues q
sont motrices et que l'énorme poids de 64 tonnes se reporte sur 5 e
sieux, il en résulte que cette machine ne fatigue pas sensiblem
plus la voie que les machines ordinaires.

470. *Usure des rails.* D'après des observations faites par M. Hu
sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, pour une circula
moyenne de 50 trains par jour, ou 18250 par an, les rails ne du
que 20 ans. M. Belpaire a trouvé que, sur les chemins belges, p
3000 trains par an, les rails durent 120 ans; ce qui donne, en sup
sant la durée proportionnelle au nombre de trains, 20 ans pour 1
trains, comme sur les chemins anglais. Il y a cependant lieu de
marquer que les rails belges ne pèsent que 25 kilog., au lieu que
rails anglais pèsent de 30 à 40 kilog.

M. Locard rapporte (*Recherches sur les rails et leurs supports*) q
chemin de fer de Saint-Étienne, sur 1290 rails de 0m,12 de haute
double champignon de 0m,053 de largeur, et pesant 30 kilog. le m
après 5 ans et 10 mois de service, 47,36 pour 100 étaient intacts, 3
n'avaient pas été retournés, mais étaient attaqués en diverses
ties; 16,04 avaient été retournés et se trouvaient fortement atta
sur les deux faces, enfin 1,25 pour 100 étaient hors de service.

La hauteur des rails avait été réduite de 0m,12 à 0m,118, ce qui p
leur usure annuelle à 0m,000343.

471. *Fabrication des rails.* (Extrait de la *Métallurgie* de MM.
chat, Petiet et Barrault, 1842). « On emploie à la fabrication des
tous les fers, pourvu qu'ils soient durs et rigides. Ces qualités
réunies dans la plupart des fers qui proviennent du puddlage
fontes au coke; du reste, ces fers sont les seuls qui prennent
destination; ceux au bois sont trop chers (473), et on les réserve
la fabrication des machines, usage auquel les fers au coke sont
propres.

« Les fours employés pour la fabrication des rails sont un peu
grands que les fours à réchauffer ordinaires; ils doivent contenir
700 kilog. de fer en 3 ou 5 paquets, suivant le poids des rails que

ue four fait ordinairement, en 24 heures, 16 chaudes de 6 à 8 tonnes de fer fini. Il faut avoir 5 ou 6 fours nployer convenablement un train de laminoirs conduit machine.

, on n'emploie que les laminoirs à la fabrication des terre, dans quelques usines, on soude les paquets au de les passer aux laminoirs; ainsi, au sortir du four, rd porté sous un marteau frontal de 3 à 4 tonnes, qui 20 coups; le fer est remis au feu pendant quelques seulement envoyé aux laminoirs. Cette méthode est it diminuer les rails de rebut.

s plus forts pourraient se faire dans un train de cylins de 0m,35 de diamètre et de 1m,00 de table; mais on ndres de 0m,45 à 0m,50 de diamètre, portant de 1m,20 et faisant de 55 à 65 révolutions par minute. Un train doit être desservi par une machine de 60 à 80 chevaux. on d'un rail s'effectue généralement dans deux cages, e comprend les cylindres ébaucheurs, et la deuxième isseurs; les ébaucheurs ont au moins 5 cannelures, en portent 6, dont la forme se rapproche graduelledonner au rail.

ffranchissent à chaud au moyen de scies circulaires. 0m,80 à 1m,20 de diamètre et 0m,004 d'épaisseur; elles s entre deux plateaux en fonte qui les empêchent de es trempent dans une bâche remplie d'eau qui évite mpent trop vite; elles font de 800 à 1000 tours à la mi- un rail en 12 ou 15 secondes. On doit les changer et les douze heures, et il en faut 3 ou 4 de rechange. le 0m,004 à 0m,005 par jour. On affranchit les deux exs pendant que le rail est chaud, à l'aide de deux scies istance convenable.

s destinées à la fabrication des rails sont généralement composées, comme l'indique la figure 77, de sept assises de barres de fer. La première assise, dite couverture supérieure, est une seule barre de fer qui a subi un premier corroyage, fer n° 2, destinée à former le champignon supérieur; les cinq assises suivantes sont en fer puddlé brut, fer n° 1, et composées chacune de deux barres de fer ayant, pour les plus grandes trousses, l'une 0m,108 de largeur, et l'autre 0m,054; ces assises sont superposées de manière à faire croiser

41

les joints ; enfin, la couverture inférieure est en fer n° 2, et composée, comme l'assise supérieure, d'une seule barre, si le rail est à double champignon.

« La plus grande dimension que l'on donne aux paquets est de $0^m,162$ de largeur sur une épaisseur à peu près égale.

« En moyenne, pour 1000 kilog. de rails reçus, on a 100 kilog. de rails rebuts, 100 kilog. de déchet au four et 125 kilog. de bouts coupés, ce qui fait un total de 1325 kilog. de fer à mettre au four ; d'où il s'ensuit que, pour obtenir un rail de $4^m,50$ de longueur et pesant 30 kilog. le mètre courant, le paquet doit contenir 135 kilog. pour le rail, 17 kilog. pour les bouts coupés et 13 kilog. pour le déchet au four, ce qui fait un total de 165 kilog.

« Le rapport que l'on admet entre le poids du fer n° 2 employé et celui du fer brut varie de $\frac{2}{7} = \frac{6}{21}$ à $\frac{1}{3} = \frac{7}{21}$; ainsi le paquet précédent de 165 kilog. serait composé de 55 à 48 kilog. de fer n° 2 et de 110 à 117 kilog. de fer n° 1. La longueur du paquet serait de 1 mètre environ. Pour un rail de 36 kilog., le paquet aurait environ $1^m,20$ de longueur.

Composition des trousses pour fabriquer le rail Brunel, fig. 75, à l'usine de Decazeville.

ASSISES.	ÉPAISSEUR.	1re BARRE.		2e BARRE.		3e BARRE.	
		Nature du fer.	Largeur.	Nature du fer.	Largeur.	Nature du fer.	Largeur.
	mm		mm		mm		mm
1	27.0	Ballé.	189	»	»	»	»
2	22.5	id.	54	Puddlé.	84	Ballé.	[illegible]
3	22.5	Fort.	84	Fort.	108	»	»
4	22.5	Puddlé.	108	Puddlé.	81	»	»
5	22.5	id.	54	id.	81	Puddlé.	[illegible]
6	21 5	Fort.	84	Fort.	108	»	»
7	12.5	id.	108	id.	84	»	»

Le fer fort est du fer puddlé propre à la fabrication de la tôle. La trousse est ainsi composée de 49 kilog. de fer ballé, 98 kilog. de fer fort, et de 79 kilog. de fer puddlé : total, 226 kilog.

A l'usine d'Aubin, pour le même rail, la trousse est composée de 75 kilog. de fer ballé et de 145 kilog. de fer puddlé : total, 220 kilog. et elle est formée comme il suit :

ISES.	ÉPAISSEUR.	1re BARRE.		2e BARRE.		3e BARRE.	
		Nature du fer.	Largeur.	Nature du fer.	Largeur.	Nature du fer.	Largeur.
	mm		mm		mm		mm
1	27	Ballé.	189	»	»	»	»
2	20	id.	54	Puddlé.	81	Ballé.	54
3	20	Puddlé.	81	id.	108	»	»
4	20	id.	108	id.	81	»	»
5	20	id.	81	id.	108	»	»
6	20	id.	108	id.	81	»	»
7	20	id.	81	id.	108	»	»
8	20	id.	108	id.	81	»	»
9	15	Ballé.	189	»	»	»	»

'un *Mémoire lu à la Société des ingénieurs civils*, par M. Curtel, ien élève de l'École centrale, nous extrayons ce qui suit :

rails doivent présenter une grande dureté pour résister au frottement des roues e grande ténacité pour supporter les véhicules sans se déformer entre les appuis. satisfaire à ces conditions, les surfaces de roulement seront à grains; tandis que rps du rail sera nerveux.

fonte au coke sera de bonne qualité; elle sera convenablement puddlée. Le fer qui en proviendra ne devra pas sortir des cylindres en barres ayant moins de 0m,80 ngueur. On fabriquera deux échantillons de fer brut, l'un de 0m,081 de large, re de 0m,054.

ur la fabrication des rails, le maître de forge aura le choix d'employer du fer coret du fer brut, ou du fer brut seul.

paquet destiné à former la couverte sera composé uniquement avec du fer à s; il sera *laminé à plat*, c'est-à-dire que les plans de soudure des diverses mises nt parallèles à la largeur de la couverte. La couverte laminée sera complétement ins; elle aura 0m,160 de large sur 0m,012 à 0m,014 d'épaisseur (0m,014 est un imum qui ne devra jamais être dépassé). Les couvertes seront soumises à une réion provisoire. Les couvertes nerveuses seront rebutées et cisaillées immédiatement les yeux de l'agent. Cette première réception n'engagera en rien la compagnie. ur le paquet destiné à former le rail, on placera immédiatement sous la couverte andelettes qui pourront être en fer à grains. Le reste du paquet sera composé avec r aussi nerveux que possible.

s deux mises qui se trouvent sous la couverte seront formées avec des barres d'une pièce; on tolérera des bouts dans les autres mises. Ces bouts, provenant du cige du massiot, devront être affranchis à l'une de leurs extrémités et avoir au s 0m,10 de longueur. On ne tolérera pas dans le paquet des *bouts écrus* ayant s de 0m,80 de longueur. On croisera avec soin les joints qui formeront les diverceaux de fer composant les mises dont nous venons de parler. Le fer brut ayant 81 et 0m,054 de largeur, on croisera également les joints dans les mises du pa. Ainsi on ne tolérera que deux mises de 0m,081 ou de 0m,054, l'une au-dessus de re.

l'on n'emploie que du fer brut, on placera en haut et en bas du paquet des mises r à grains; le reste du paquet sera composé avec du fer brut nerveux. On s'arra de manière à ne point avoir de joints à la surface de roulement.

fabrication des rails sera aussi parfaite que possible. Les rails pailleux et dessouront rebutés. Quand on frappant à l'extrémité du rail (à la réunion de la cou-

verte et du fer brut), il se montrera une trace de soudure, n'eût-elle que 2 à 3 millimètres, le rail n'en sera pas moins refusé. Les arrachements des bandelettes qui se trouvent sous la couverte seront également une cause de rebut. On tolérera les *criques de chaleur* qui n'attaqueront pas la surface du roulement.

Autant que possible, les rails seront coupés à froid au moyen des tours, et à une distance de 0m,25 à 0m,30 des deux bouts. Le bout sortant le premier du laminoir devra toujours être plus long que l'autre. Tout rail qui n'aura pas de 0m,50 à 0m,60 en plus que sa longueur normale devra être coupé pour une autre longueur.

On tolérera le coupage à chaud au moyen de scies disposées de manière à couper les deux bouts à la fois. Les bavures produites par la scie seront enlevées au moyen d'une fraise ou d'une cisaille. Les rails sciés à chaud devront donc avoir au moins 0m,01 de plus que leur longueur normale.

Il est formellement interdit de couper un bout d'abord et de réchauffer l'autre ensuite pour le couper, soit à la scie, soit à la tranche.

Comme on le voit, M. Curtel ne paraît pas douter que le fer à grains ne puisse se souder parfaitement au fer nerveux si le paquet est suffisamment chauffé. C'est ce que contestent des ingénieurs expérimentés. M. Couche s'exprime de la manière suivante à cet égard : « La soudure des deux fers est possible, sans contredit, mais elle est tout au moins difficile et suspecte dans les conditions de la fabrication des rails. Le fer à nerf demande une température assez élevée ; le fer à grains redoute tout excès de chaleur ; surchauffé, il se dénature et passe à l'état de fer à gros grains, très-aigre ; d'un autre côté, moins ductile que l'autre, il n'obéit pas aussi facilement à l'action du laminoir, et il s'y forme des gerçures. »

M. Curtel, comme M. Couche, préfère les rails composés entièrement de fer puddlé à ceux qui contiennent partie de fer puddlé et partie de fer affiné.

On a songé à composer les trousses uniquement en fer n° 2 ; mais d'après des ingénieurs expérimentés, non-seulement les rails en fer n° 2 sont fort chers, mais aussi trop mous, et ils proposent de composer uniquement les trousses en fer puddlé ; il paraît qu'en Angleterre, en Belgique et en Allemagne on est parvenu à obtenir ainsi de bons rails.

Il serait à désirer que la cassure des rails présentât, comme celle d'excellents bandages venant de Lowmor, un mélange uniforme de grain et de nerf, dénotant un fer à la fois dur et tenace. Mais comme la fabrication deviendrait coûteuse, la cassure des rails est en général grenue ; dans ceux à patin les mieux fabriqués, la cassure du champignon est entièrement grenue, celle du patin est fibreuse, et les deux cassures passent de l'une à l'autre par gradation.

472. *Réception des rails.* Il est de la plus haute importance qu'il n'y ait aucune défectuosité dans la forme des rails ; aussi l'ingénieur en chef de la compagnie ne doit se reposer sur aucun agent, de quelque ordre qu'il soit, du soin d'approuver les premiers échantil-

par le fabricant ; il doit exiger que des portions des pre- rtis des laminoirs lui soient envoyés, et que l'on ne com- rication sur une grande échelle que lorsqu'il aura fait assentiment par écrit au directeur de l'usine.
oivent être parfaitement soudés et exempts de toute es- uts, tels que pailles, stries, criques ou brûlures. Les surtout doivent être parfaitement sains et unis. On ne ue des défauts insignifiants dans leur tige.
ont affranchis à la scie circulaire ou au burin monté sur porte de s'assurer que l'usine possède ces outils.

nérales stipulées dans le cahier des charges relativement à la fabrica- ption des rails.

nteront la forme exacte du gabarit poinçonné qui sera remis au fa- l en sera rigoureusement observé sur toute leur longueur et particu xtrémités, qu'on évitera avec soin de comprimer ou d'altérer lors du s qui ne reproduiraient pas exactement les formes du gabarit seront

cependant une tolérance de 2 p. 100, en plus ou en moins, pour le rail, sans dépasser 1 p. 100 pour la totalité des rails. Les rails trop lé- tés; ceux qui seront trop lourds seront payés à raison du poids normal olérance.
ormale des rails étant de 6 mètres, comme au chemin de fer du Nord, vra livrer telle partie de rails à la longueur de 5m,96, et pour faciliter rail sur 20 sera admis avec une longueur moindre que la longueur onstante, soit de 4m,12, soit de 5m,06, sans que jamais les rails soient ette longueur. La tolérance sur les longueurs fixées ne doit jamais ex- tre et demi en plus ou en moins. Quand la longueur normale est de chemin de Strasbourg, 1/20 des rails peut n'avoir qu'une longueur 5m,40. Les rails courts trouvent leur emploi dans les courbes et dans s des voies de garage.
ront, à 0m,60 de chaque bout, l'une d'un côté, l'autre de l'autre côté, en apparentes indiquant à la fois l'usine et l'année de la fabrication, l'échantillon remis au fournisseur et lequel porté le poinçon de la

t en fer dur et compacte, bien soudé, non cassant à froid, à grain fin nons et de qualité analogue à celle de l'échantillon remis au fournis- utre échantillon accepté par la compagnie. Les surfaces de roulement re d'épaisseur devront provenir de mises en fer corroyé formant le sous du paquet, d'une seule pièce. Le laminage des rails devra être possible. Tous ceux qui seraient mal soudés, ou pailleux, ou criqués, leurs fibres, seront rebutés. Les rails ne devront porter aucune trace de

nt dressés sur les 4 faces avec le plus grand soin ; le dressage sera possible, à chaud. Toutes les surfaces devront être nettes et unies. ront coupés aux deux bouts d'équerre sur l'axe de la barre et ajustés en.
nité des rails sera percée dans l'axe, au poinçon ou au foret, de deux imensions et les positions sont déterminées par le tracé et par l'échan- fournisseur. Si la distribution et les dimensions des trous ne sont pas acé, les rails seront refusés.

Des *épreuves* au choc et à la pression pourront être faites sur un certain nombre de rails (1 p. 100 au plus). Les rails seront classés, avec soin, dans l'usine, en séries provenant de la fabrication d'un ou de plusieurs jours. Les agents préposés à la réception choisissent, dans chaque série, un certain nombre de rails (1 p. 100 au plus) pour les soumettre aux épreuves suivantes :

1° Chacun de ces rails, du poids de 37 kil. par mètre courant, placé de champ sur deux points d'appui espacés de 1^{m},10, doit supporter, pendant cinq minutes, au milieu de l'intervalle des points d'appui, une pression de 12000 kil. sans conserver de flèche sensible après l'épreuve.

2° Le même rail dans la même position doit supporter pendant cinq minutes, sans se rompre, une charge de 30000 kil. On peut augmenter ensuite la pression jusqu'à la rupture.

3° Chacune des deux moitiés de rail cassé, placée de champ sur deux supports espacés de 1^{m},10, doit supporter, sans se rompre, le choc d'un mouton de 300 kil. tombant de 2 mètres de hauteur sur la barre, au milieu de l'intervalle des points d'appui. Dans ce dernier cas, les deux supports sont en fonte et reposent, par l'intermédiaire d'un châssis en bois de chêne, sur un massif en maçonnerie de 1 mètre d'épaisseur au moins, établi sur un terrain solide.

Si l'une des barres essayées ne résiste pas aux épreuves, on les continue sur un plus grand nombre de barres, et si plus de 1/10 des rails essayés ne résiste pas, la série entière dont ces rails proviennent est rebutée.

La réception provisoire sera faite à l'usine par un ou plusieurs agents de la compagnie. Elle aura lieu au fur et à mesure de la fabrication, et elle aura pour objet de trier, peser et poinçonner toutes les barres satisfaisant aux conditions stipulées. Les mains-d'œuvre relatives à la réception et aux épreuves seront à la charge du fabricant.

Les rails reçus à l'usine seront immédiatement embarqués pour être transportés par les soins des fabricants, et à leurs frais, aux lieux de dépôt qui leur seront fixés.

Le fabricant garantit les rails pendant trois ans, à partir de l'époque moyenne des livraisons. Toute pièce qui, pendant ce délai, s'altérerait par suite de défauts tenant à la qualité du fer ou à des vices de fabrication, donnera lieu, de la part du fabricant, en faveur de la compagnie, qui restera, d'ailleurs, en possession des pièces défectueuses, à une indemnité calculée sur le taux de 120 fr. la tonne de pièces défectueuses. Les rails posés aux abords des stations principales avec prise d'eau ne seront pas soumis à cette garantie pour l'étendue de ces stations et sur 1 kilomètre adjacent du côté de l'arrivée pour chaque voie.

Le fournisseur devra donner la libre entrée de ses ateliers à l'ingénieur de la compagnie ou à ses agents, qui pourront y rester tout le temps de la fabrication, et auxquels il sera permis d'exercer, de jour et de nuit, la surveillance, et de faire les vérifications nécessaires pour reconnaître si toutes les conditions du cahier des charges sont exactement remplies.

On éprouve les essieux d'artillerie, en les faisant reposer sur une table en fonte par les extrémités de leurs corps, et en laissant tomber sur leur milieu, d'une hauteur de 1^{m},60 ou 1^{m},00, un mouton du poids de 300 kilog., ou encore en les faisant tomber d'une hauteur de 2^{m},11 sur deux demi-cylindres en fonte sur lesquels ils portent simultanément.

473. *Prix des rails.* Le prix des rails suit le prix des fers, et il est par conséquent très-variable d'un moment à l'autre. En 1828, les rails du chemin de Saint-Étienne ont coûté 50 fr. les 100 kilog.; dix ans plus tard, pour les chemins de Saint-Germain, de Versailles, etc., ils coûtaient 42 fr. rendus à Paris. En 1846, la compagnie de l'Est les a payés 35 fr. rendus sur ses chantiers; en 1852, elle les a payés 25 fr.

ır le chemin de Metz à Thionville, et en 1854, 26 fr. pour le chemin Mulhouse. D'autres compagnies ont traité au prix de 30 fr.

En France, le fer employé à la construction des machines coûte en-on moitié en sus du prix de celui fabriqué en rails.

174. *Pose des rails*. Afin de permettre la dilatation des rails, on ise entre leurs extrémités un jeu de 4 ou de 2 millimètres, selon que pose a lieu en hiver ou en été.

La face supérieure du champignon doit être légèrement inclinée s l'axe de la voie (464 et 465).

Dans les courbes, on tient le rail extérieur un peu plus élevé que ui intérieur, afin de contre-balancer l'effet de la force centrifuge. : des chemins à grande vitesse, et pour des rayons de 1200 à 0 mètres, cette différence de niveau se prend égale à $0^m,02$.

Sur les remblais, afin d'obvier au tassement inégal qui a lieu sur argeur de la voie, on pose le rail voisin de l'entre-voie un peu plus que celui du côté du talus; le rail le plus bas se place au niveau néral du chemin.

La largeur de la voie doit être constante, si ce n'est dans les courbes, on l'augmente un peu. Les traverses doivent être convenablement veloppées de ballast, et reposer parfaitement en tous leurs points r une couche suffisamment épaisse.

Les coins doivent être enfoncés dans le sens qui les fera serrer d'a-ntage si les rails prennent un mouvement en arrière par suite de ction des roues motrices, ou en avant par l'effet des roues des wa-ns. Comme ces actions, non-seulement ont des sens contraires entre es, mais aussi changent de sens avec celui du convoi, il y a lieu étudier, d'après la pente du chemin, le mode de locomotion, et le ns habituel des convois chargés, le sens dans lequel les rails ont le us de tendance à glisser, et par suite à entraîner les coins, qui doi-nt tendre à se serrer en cas de mouvement.

Instruction bavaroise relative à la pose de la voie :

Les points d'appui de support ne doivent pas être distants de plus de $0^m,88$ (n° 469); distances seront toujours plus faibles vers les extrémités du rail que vers le milieu. supports seront plus rapprochés vers les extrémités avec des rails sans éclisses avec des rails à éclisses.

Le rail à coussinets du chemin de l'Ouest (du roi Louis), de Bamberg à Schwein-t, a $6^m,14$ de longueur; on lui donnera 8 supports, placés à :

$0^m,68$ $0^m,75$ $0^m,82$ $0^m,82$ $0^m,82$ $0^m,82$ $0^m,75$ $0^m,68$.

Le même rail de $5^m,26$ recevra 7 supports, placés à :

$0^m,67$ $0^m,73$ $0^m,82$ $0^m,82$ $0^m,82$ $0^m,73$ $0^m,67$.

Les rails à base large, de $5^m,54$, avec éclisses, recevront 7 supports, distants de :

$0^m,67$ $0^m,79$ $0^m,87$ $0^m,88$ $0^m,87$ $0^m,79$ $0^m,67$.

Les rails du modèle ancien (Seraing), de $4^m,68$, sans éclisses, auront 6 supports à :

$0^m,58$ $0^m,88$ $0^m,88$ $0^m,88$ $0^m,88$ $0^m,58$.

Ces distances indiquées pour les supports seront observées, excepté dans les deux cas suivants : 1° lorsque la distance des joints laissée au moment de la pose est insuffisante, et 2° lorsqu'il n'existe pas de moyens pour empêcher le glissement ; dans ce cas, on pourra s'éloigner des nombres indiqués jusqu'à 0m,06.

Dans l'essai à faire dans l'Algaü avec des dés sur nagelflue, on se servira, avec les rails à base large de 5m,54 de longueur, de 6 au lieu de 7 supports, qui seront placés à :

0m,79 0m,96 1m,02 1m,02 0m,96 0m,79.

On ne donnera même, à titre d'essai, que 5 supports, placés à :

1m,02 1m,14 1m,22 1m,14 1m,02.

Ces distances seront mesurées du milieu d'un dé à l'autre ; ces dés seront placés diagonalement, pour présenter au rail une longue surface de pose (462).

Dans les alignements, on conservera l'inclinaison de 1/20, admise jusqu'à ce jour, et consacrée par l'expérience ; la même inclinaison sera conservée aux roues des locomotives, à l'exception toutefois de celles de devant, qui auront une conicité de 1/1[illegible].

Dans les courbes, la surface de pose des rails à base large, comme les bases des coussinets, dans les voies à coussinets, conserveront entre elles une inclinaison de 1/10, tandis que le niveau de la surface de roulement du rail extérieur s'élèvera par rapport à celle du rail intérieur avec la diminution du rayon de la courbe. Il n'y aura d'exception, pour l'inclinaison des rails entre eux, que dans les voies posées sur dés en pierre ayant des rayons de 440 à 290 mètres. Dans ce cas, le rail intérieur restera vertical, et sa surface de pose sera par conséquent horizontale, tandis qu'il pencherait en dehors de l'axe de la voie, si l'on voulait conserver rigoureusement l'inclinaison entre ces deux surfaces de pose de dés.

Les écartements intérieurs des rails consacrés par l'expérience sont :

Rayon.	Largeur.	Rayon.	Largeur.
292m	1m,4593	496 à 584m	1m,4447
321	1 ,4563	584 à 730	1 ,4433
350	1 ,4534	730 à 875	1 ,4418
379 à 408	1 ,4505	875 à 1167	1 ,4372
438 à 467	1 ,4476		

Dans les courbes des gares, on peut, sur les voies principales, aller jusqu'à un écartement de 1m,4593, et, dans les voies secondaires, au maximum 1m,461.

Dans les courbes, on conservera au rail intérieur son niveau, mais on surhaussera le rail extérieur de :

0m,1167 0m,1021 0m,0934 0m,0875 0m,0817 0m,0719 0m,0379 0m,015

pour les rayons respectifs :

292m 350m 408m 467m 525m 584m 875m 1167m.

La distance normale de l'axe d'une voie à l'autre est fixée en dehors des gares à 3m,50. Dans l'intérieur des gares, cette distance est insuffisante, et partout où deux trains peuvent se mouvoir en même temps sur des voies parallèles, on la portera au minimum à 4m,95 ou mieux à 5m,25. Dans les stations principales, et dans les points où les deux voies viennent à se croiser, on laissera, s'il y a possibilité, entre elles un espace libre de 5m,20 ; ce qui suppose une distance d'axe en axe de 6m,70. Dans les autres voies des gares, on peut se contenter d'une distance d'axe en axe de 4m,10 à 4,40.

Si le glissement longitudinal des rails sur les supports n'a pas été empêché, il arrivera que les extrémités se toucheront en se refoulant peu à peu, et les rails fendront par éclats. Ces inconvénients sont parfaitement évités par l'emploi des éclisses à cornières.

ivec rails à base large et sans éclisses, on empêche le glissement lonune manière beaucoup moins parfaite, en enfonçant deux chevillettes s encoches rectangulaires pratiquées dans la base et vers l'extrémité. vec rails à coussinets, on enfonce les coins en bois : 1° sur les fortes rection de la pente ; 2° à l'approche des stations, dans la direction de ur le restant de la ligne, en partant du milieu du rail, dans les deux

nts ont lieu, malgré ces précautions, on sort les coins, on partage les toucher aux traverses de joints.

le joints admises jusqu'à ce jour dans la pose se sont montrées inpport aux glissements provenant de la dilatation; d'autant plus qu'il u'il se produit en même temps sous l'action des roues un laminage calculera donc à l'avenir les joints de manière à laisser, même par atations, une distance libre de 0m,0012.

les rails de se fendre par éclats, on arrondira les arêtes de la tête

es tournantes. Les plaques proprement dites, c'est-à-aux sur lesquels sont posés les rails, peuvent être en ois. Ces dernières coûtent moins d'établissement ; mais nent moins bien et exigent plus d'entretien que les pre-, pour les grandes lignes surtout, convient-il d'adopter fonte. Dans ces derniers temps, on a construit beau-les tournantes en tôle.

peuvent ne porter qu'une voie, ou en porter deux à es plaques placées aux extrémités des gares, où ne pas-s convois, peuvent être à une voie; mais celles qui se les parties du chemin où les convois circulent doivent oies, afin de ne jamais interrompre la ligne.

emins de l'Est, les plaques tournantes destinées à ne s wagons à voyageurs ou à marchandises n'avaient que ètre; mais comme on a été conduit à augmenter l'é-s essieux dans les voitures à grande vitesse pour leur le stabilité, et dans les autres voitures, afin d'augmenter es caisses, les premières plaques, situées sur les parties passent les voitures à voyageurs, ont été remplacées ui ont 4m,50 de diamètre. Les anciennes plaques ont été s les gares à marchandises, et l'on regrette encore, le service des marchandises, que leur diamètre ne grand; au chemin de Mulhouse, elles ont 3m,50 de

s pour locomotives du chemin de l'Est ont toutes 6 mè-ètre. On a fait des plaques destinées à porter à la fois la son tender qui ont jusqu'à 12m,50 de diamètre.

évision d'un plus grand écartement des essieux des wa-locomotives, il est prudent de donner aux plaques tour-iamètre plus grand que celui strictement nécessaire.

Des plaques de 4^{m},50 de diamètre sont supporté
lets ayant de 0^{m},30 à 0^{m},40 de diamètre et 0^{m},07 e
de jante.

Sur quelques chemins de fer, les galets sont f
tion ou sous le plateau mobile, à l'aide de suppor
sinets; quelquefois les galets tournent sur leurs a
de coussinets; mais les réparations sont difficiles
de l'usure, les galets ballottent sur leurs axes.

Ordinairement, les galets, au lieu d'être retenu
roulent librement entre deux chemins circulaires
sous la plaque tournante, l'autre sur le fond de
disposition, le frottement des axes des galets étai
primé, les plaques sont plus faciles à manœuvre
faut deux surfaces de roulement tournées, le pr
Les galets mobiles sont maintenus à une distance
de la plaque par leurs axes, qui se prolongent jusq
cercles en fer, l'un à l'intérieur et l'autre à l'extér
quelquefois un cercle extérieur seulement, relient
axes et maintiennent l'écartement respectif des gal
en fer de 0^{m},025 environ de diamètre. Pour que
bien assises, il convient de placer les galets près

La partie de pivot prise dans la crapaudine a 0^{m}
mètre. Il convient que la plaque porte la crapaudi
soit fixé à la plaque de fondation; par là, on n'a p
des particules solides viennent s'interposer entr
tantes. Des boulons servent à régler la charge qu
le pivot; la plaque se trouvant ainsi supportée en
pourtour, elle exige moins d'épaisseur que si elle r
sur les galets.

Une plaque en fonte de 3^{m},40, du chemin de l'Est, est re
127 fr. de pose; une autre de 4^{m},20, à 4327 fr., plus 172 fr.
6^{m},00, à 6011 fr., plus 401 fr. de pose; et une autre de 11^{m},00,
pour un plancher en bois de 0^{m},08 d'épaisseur, et 400 fr. pou
comprennent pas les fondations, qui ont coûté 4560 fr. pour la

Au chemin du Nord, une plaque en tôle et fonte de 4^{m},20 a co

Au chemin de l'Est, une plaque de 11^{m},60, système Buddicon
a coûté 45600 fr.; le plancher, en bois de 0^{m},08, 650 fr.; la pos
tions 5500 fr.

476. *Clôtures vives et sèches.* Les clôtures sont
préserve pendant leur croissance par des treillag
même temps et provisoirement de clôture au che
s'enlèvent au fur et à mesure que les haies devien

Les meilleurs treillages sont formés de simp
entre eux par des fils de fer. Quelquefois les clôt

es par des piquets de 1^m,40 de hauteur au-dessus du sol, ment par 3 lisses en bois ou par 3 cours de fil de fer galpiquets pénètrent de 0^m,40 à 0^m,50 dans le sol, et ils sont ^{m},50 entre eux.

e pour les haies vives est de 0^f,80 environ par mètre coupris l'entretien pendant 8 ou 10 ans.

emin de Paris à Mulhouse, les clôtures se composent de ^{m},40 de hauteur, espacés de 1^m,50, et réunis par 3 lisses u par un treillage en échalas, selon que les localités très-habitées. Les premières ont coûté 0^f,45 le mètre cou-, et les secondes, 0^f,75; soit le double par mètre courant

es avec lisses ne coûtent pas beaucoup moins que celles er, et elles durent moins longtemps.

énérales du cahier des charges relatif à la fourniture, la plantation et l'entretien des clôtures vives et sèches.

s haies variera avec la nature du terrain. Les essences seront : 1° l'aubéa; 3° l'épine noire; 4° le frêne. Les plants d'aubépine ou d'épine noire rois ans d'âge; les plants d'acacia deux ans au plus; le diamètre, meau-dessus du collet de la racine, devra être de 0^m,005 au moins. a bien sain et sa racine bien chevelue; il sera coupé en bec de flûte, à 0 du collet de la racine. Les racines coupées ou endommagées par une ue seront rafraichies jusqu'au vif.

Le terrain destiné à recevoir le plant des haies sera refouillé à la bêche novembre sur une profondeur de 0^m,40 et une largeur de 1^m,00; les risées, la terre sera ameublie et purgée avec soin de pierres, d'herbes et

, janvier et février, après avoir ouvert un petit fossé de 0^m,20 de lar20 à 0^m,25 de profondeur, le plant sera mis en terre sur un rang de r entre deux brins une distance uniforme de 0^m,10 pour l'aubépine et t de 0^m,15 pour l'acacia et le frêne. Toute plantation est interdite penet après le 1er mars. La haie sera plantée à 0^m,50 des limites du chevant les alignements droits ou courbes tracés par les agents de la comant sera présenté dans le petit fossé ouvert pour le recevoir, et la terre e sur les racines de manière à ne pas contrarier la direction naernières. Il ne devra y avoir aucun vide entre elles, et pour que la terre dans les vides qui pourraient exister, on soulèvera très-doucement les s et l'on pressera ensuite tout autour avec le pied.

a compagnie jugera utile de clôturer le chemin par un fossé, l'entreprergé de sa construction suivant le profil donné. Dans cette construction, me il suit : l'arête extérieure du bord relevé étant fixée à 1^m,30 de la lin de l'État, l'entrepreneur enlèvera toute la terre végétale dans cette de largeur pour l'employer à faire un bord relevé, ensuite il achèvera le ssant toutes les pierres et la terre non végétale sur une banquette de 0^m,40 des champs voisins. Le bord relevé sera ainsi en bonne terre végétale, plantée en son milieu en opérant comme il est dit ci-dessus.

ée, au mois de juillet, l'entrepreneur recevra un état d'indication des haies à planter l'hiver suivant. La compagnie pourra demander à l'entrese de 200 kilomètres de haies pendant l'hiver.

n provisoire des haies aura lieu dans le courant du mois de mai qui sui-

vra la plantation par sections de chemins de fer comprises entre deux stations principales. Celles qui n'auront pas été faites conformément aux indications qui précèdent seront replantées aux frais de l'entrepreneur.

Entretien des haies. L'entrepreneur garantit les haies pendant huit années à partir de leur réception provisoire. Pendant le délai de garantie, l'entrepreneur restera chargé de l'entretien des haies, qui comprendra les travaux désignés ci-dessous.

L'entrepreneur donnera chaque année trois binages aux haies, un au printemps, le 2e en juin ou juillet et le 3e en septembre ou octobre. Chaque binage sera fait sur [illegible] mètre au moins de largeur, $0^m,50$ de chaque côté, et sur une profondeur convenable, de manière à remuer et ameublir le sol, en détruisant les mauvaises herbes, mais sans attaquer la racine des plants. Dans cette opération, les mottes seront retournées [illegible] brisées avec soin, et le règlement de la surface du sol sera fait de manière à conserver une légère inclinaison pour amener les eaux des pluies vers les plants. L'entrepreneur devra en outre faire visiter fréquemment la haie vive, surtout après les pluies, et arracher les herbes qui pourraient nuire au développement des plants qui la composent. [illegible] conséquence, il ne sera toléré aucune herbe ni aucune plante parasite dans la [illegible] de $1^m,00$ de largeur soumise au binage. L'entrepreneur fera en outre tous les élagages nécessaires; les élagages auront pour objet de régler les haies à la hauteur qui sera prescrite suivant la vigueur des pousses, et de couper toutes les branches mortes ou [illegible] mal. L'entrepreneur aura soin en même temps de dresser et de diriger convenablement les branches conservées, afin de rendre la haie bien touffue et bien défensive. Tous [illegible] ans, il sera fait au moins deux tontes : la première avant la sève, c'est-à-dire avant [illegible] mois de mars, et la seconde du 15 juin au 15 juillet. L'entrepreneur fera procéder, [illegible] hiver, et après les premières chaleur du printemps, à la destruction des nids et [illegible] de chenilles, que l'on brûlera à chaque opération. Enfin tous les plants morts ou [illegible] venant seront remplacés par l'entrepreneur pendant le mois de mars ou de novembre de chaque année. Les brins devront satisfaire aux conditions énoncées précédemment et être plantés sur une seule ligne, avec un espacement égal, et à raison de 6 [illegible] 7 brins par mètre courant. Dans ce remplacement, les essences ne seront pas mélangées.

Réception définitive des haies. A l'expiration du délai de huit ans fixé plus haut, les haies devront être entièrement défensives et bien fourrées sur toute la hauteur de manière à ne laisser aucune ouverture; elles devront avoir 1 mètre de hauteur au [illegible] et $0^m,35$ d'épaisseur régulière. L'entrepreneur sera tenu de continuer à ses frais l'entretien de toutes les parties de haies qui, à l'expiration de ce délai, ne présenteraient pas la force et les qualités ci-dessus, ainsi que celui des treillages correspondant à ces parties. La réception définitive des haies ne sera faite que pour les haies qui auront les dimensions prescrites.

Les *clôtures sèches* seront formées au moyen d'échalas portant sur chacune de leurs faces $0^m,03$ au moins, et ayant $1^m,50$ de longueur. Il entrera 7 échalas dans chaque mètre courant de clôture, lesquels seront reliés en haut au moyen de doubles lattes formant moises. Les échalas seront appointés aux deux bouts et enfoncés en terre de $0^m,45$. La clôture sera par conséquent en saillie de $1^m,05$ au dessus du terrain naturel. Après l'achèvement des treillages, les bouts supérieurs des échalas devront être avivés et bien pointus; on les affûtera donc, si cela est nécessaire, après les avoir enfoncés en terre. Les lattes auront de $0^m,03$ à $0^m,04$ de largeur et de $0^m,015$ à $0^m,02$ d'épaisseur et 3 mètres de longueur chacune; elles seront fixées à chaque échalas au moyen de fil de fer n° 9 qui les enveloppera deux fois en formant une croix de Saint-André. Le nœud formé pour arrêter les bouts de fil de fer sera bien fait, serré, et aura au moins deux tours. Elles seront posées à joints contrariés, c'est-à-dire que les bouts des lattes intérieures correspondront au milieu des lattes extérieures. La lisse sera établie à $0^m,15$ en contre-bas de la pointe des échalas. Les dispositions de la clôture seront, du reste, conformes au dessin à joindre au présent cahier des charges.

Les pieux et les échalas qui entreront dans la composition des clôtures seront en bois de chêne, de châtaignier ou d'acacia de bonne qualité, neufs, sans pourritures, ai

i fentes au centre. Les lattes ou lisses devront être toutes en châtai-

ont exactement posées sur les limites extérieures du domaine du che-
ant les alignements droits ou courbes qui seront indiqués à l'entre-
gents de la compagnie; il ne sera toléré ni jarrets dans les courbes,
ans les alignements droits. Les échalas seront enfoncés d'aplomb, les
s inflexions du terrain, que l'entrepreneur devra régulariser autant
r enfoncer les échalas dans la terre, on commencera par faire des
à la profondeur fixée, au moyen d'une tige en fer de 0m,03 de dia-
re l'assemblage des lattes solidaire entre elles, l'entrepreneur aura
er leurs joints.
in sera, et notamment à la traversée des ruisseaux et aux abords des
x d'art, l'entrepreneur fera renforcer ou soutenir le treillage au moyen
rois faces ou équarris, mais ayant au moins, écorcés, 0m,07 de dia-
onds, et 0m,09 de côté s'ils sont à 3 faces. Ces pieux seront en chêne,
acia; ils seront affûtés à leurs pieds et enfoncés de 0m,75 au moins.
et posés par l'entrepreneur et à ses frais.
au mois de juillet, l'entrepreneur recevra un état d'indication des
res à poser par mois; l'année d'après, à dater du 1er janvier, la com-
mander à l'entrepreneur la pose de 20 kilom. par mois.
restera chargé de l'*entretien* et de toutes les réparations générale-
des clôtures sèches pendant huit ans. Il devra les maintenir en bon
ver la composition ci-dessus prescrite. Il est entendu qu'il ne pourra
ntretien que des bois de chêne, de châtaignier ou d'acacia pour les
x, et de châtaignier pour les lattes. Les pieux pourront être à section
triangulaire; dans le premier cas, leurs côtés ou leur diamètre auront
t dans le deuxième 0m,09; enfin leur longueur sera de 1m,80.
enlèvera successivement les parties de la clôture en treillage qui cor-
s portions de la haie vive devenues complétement défensives et re-
r l'ingénieur de la compagnie. L'entrepreneur est autorisé à em-
s de treillage à l'entretien des portions dont le maintien sera jugé
. L'entrepreneur devra démolir à ses frais toutes les parties du treil-
evenues inutiles; ces matériaux deviendront sa propriété.
ne pourra céder tout ou partie de son entreprise.
s'effectueront dans les délais suivants : 1° Pour les prix de la planta-
moitié sera payée pendant l'exécution du travail et en raison de son
tel jour qui suivra la réception provisoire, en admettant que les 2/3
donné des feuilles, et le dernier 1/10 après la réception définitive.
de la façon des clôtures sèches et des contre-fossés, les 9/10 seront
xécution du travail, et le dernier 1/10 lorsque les clôtures seront
r les travaux d'entretien des haies et clôtures sèches, l'entrepreneur
semestre, c'est-à-dire fin de décembre et fin de juin, les 9/10 du
tien pendant le semestre expiré. Le dernier 1/10 formera retenue de
ra payé à l'entrepreneur qu'en fin de bail, sauf les réductions qui
r de l'inexécution des clauses de ce marché. Les retenues de garantie ne
ntérêt en faveur de l'entrepreneur.

ins de fer à deux ou à une seule voie. Pour une circula-
0 tonnes de marchandises et 1 000 000 de voyageurs par
t un chemin à deux voies; lorsque la circulation ne dé-
0000 tonnes de marchandises et 400000 voyageurs, le
être à une seule voie, avec une longueur de voies d'é-

vitement égale au cinquième ou au quart de la
chemin.

Pour un chemin à une seule voie, on achète les
voies, qui peuvent devenir nécessaires par la suit
et les tranchées s'exécutent pour les deux voies; n
empierrement ne s'établissent que pour une seul

La grande ligne de Bordeaux à Cette sera à un
des gares d'évitement en nombre suffisant.

En Allemagne, la majeure-partie des chemins
seule voie, quoique, sur quelques-uns, le transp
celui qui a lieu sur certains parcours des chemi
mier ordre. Ainsi, sur le chemin de Cologne
272 kilom., le parcours kilométrique journalier
Les trains express ont une vitesse de marche de
ou une vitesse moyenne de 50 kilom.

WAGONS.

478. *Wagons de terrassement.* Ils sont portés
les roues sont fixées aux essieux, qui tournent
tièrement en fonte.

Ces wagons doivent être d'une construction si
dité en rapport au temps pendant lequel ils doive
vice auquel on les destine. Leur hauteur ne doit
afin qu'un homme de moyenne taille puisse les
elle était de 1^{m},53 au chemin de Versailles (rive
au chemin de Saint-Germain. Le poids doit, au
être réparti uniformément sur les quatre roues.

La caisse est mobile autour d'un axe qui lui pe
une extrémité du wagon ou sur le côté, et quelqu
le devant ou sur le côté. Elle charge d'environ
côté qu'elle se renverse que de l'autre, afin qu'elle
manière continue et ne se renverse qu'à la volont
Leur angle de versement ne doit pas être de m
convient que les terres les plus adhérentes, les t
humides, se détachent sans trop de difficulté de
La forme trapézoïdale que l'on donne horizontale
l'inclinaison de ses parois latérales facilitent e
ment; il convient aussi que les terres tombent
tance de la caisse. Sur le chemin de Versailles
caisses avaient 0^{m},39 de profondeur, 2^{m},26 de lon
2^{m},06 au fond, et 2^{m},10 de largeur en haut sur 1^{m},

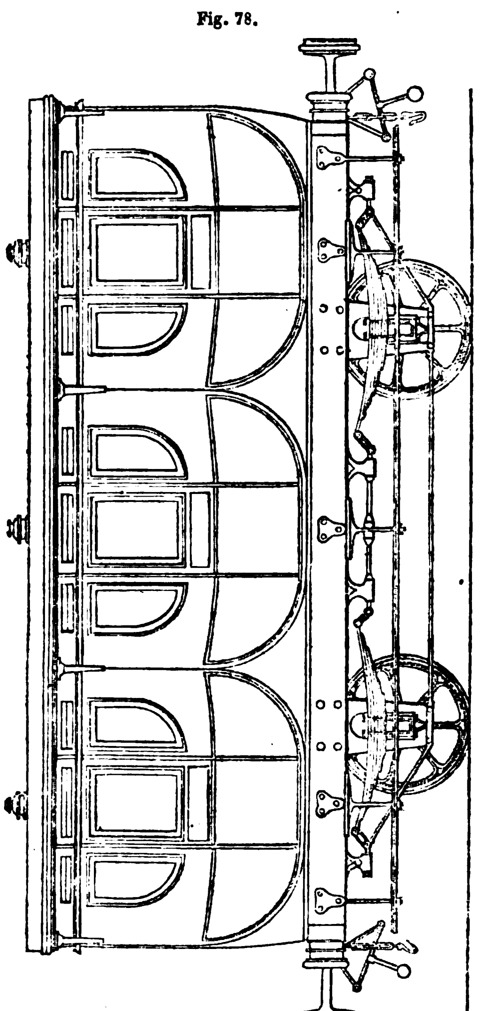
a caisse doit être très-épais ; on le fait en sapin ou en
parois latérales se font en chêne ou en sapin.
errures doivent être bien proportionnées et en fer de

ciens wagons, la caisse, en se renversant, tourne au-
situé à un niveau supérieur aux roues; dans les nou-
nglais, la caisse tourne sur un des essieux, ce qui a
e les roues plus grandes. Dans les premiers, les fusées
s des roues, et dans les seconds, elles sont en dedans.
sont en fer de première qualité, et leurs fusées seules
. Aux chemins de Versailles (rive gauche) et de Saint-
diamètre de l'essieu était de 0m,085 entre les roues, de
ints de calage des roues, et de 0m,05 aux fusées; la
'essieu, entre les deux fusées, était de 1m,72.
ont en fonte, d'une seule pièce; elles sont coulées en
de tremper en quelque sorte le pourtour de la jante. Le
les fentes qui le divisent en autant de secteurs qu'il y a
cette précaution, le retrait se fait facilement dans toutes
la roue. Ces fentes se remplissent avec des cales en fer,
rclé le moyeu avec deux frettes en fer posées à chaud.
oivent avoir un diamètre suffisant pour franchir sans
pierres ou autres obstacles qui peuvent se trouver sur
nt les terrassements, et pour que les wagons ne soient
iles à mettre en mouvement. Les roues des anciens
m,50 de diamètre, et celles des nouveaux 0m,75. Pas plus
ères, ces dernières ne peuvent servir pour les wagons
ses après l'exécution de la voie, les roues de ces wa-
0m,90 à 1m,00 de diamètre; tout ce qu'on pourrait faire
utiliser pour le transport de la houille, et encore fau-
rcler en fer, si l'on voulait marcher à de grandes vi-
te, les roues sont entièrement usées après quelque temps
x terrassements. La largeur de la jante, y compris le
0m,12.
de Versailles (rive gauche), les wagons versant devant
f,65, et ceux versant de côté, 664f,80; ces wagons étant
es locomotives, et marchant à une grande vitesse, ils
construction solide; cependant aujourd'hui on pourrait
meilleur marché. Les wagons employés sur le chemin de
a frontière belge ont coûté 450 fr.; ils pouvaient contenir
e; ils étaient destinés à descendre sur un plan incliné
à être remorqués par des chevaux.
s wagons contenaient 1mc,50 comptés au déblai; les wa-
petit modèle contiennent 1mc,50 à 1mc,75, et ceux du grand
0. Le nouveau modèle belge, pouvant à volonté verser

devant ou de côté, cube 3m,30. La compagnie des chemins de l'Est a payé 700 fr. le wagon anglais grand modèle, et 900 fr. le wagon belge.

479. *Wagons de service et voitures pour les voyageurs.* Les boîtes à graisse sont en fonte, mais toujours munies de coussinets en bronze ou en métal blanc (481). La caisse est toujours montée sur ressorts; elle est supportée par les extrémités de ces ressorts, dont le milieu repose sur la boîte à graisse. Celle-ci est prise entre les deux branches d'une plaque en fer ou en forte tôle, dite *plaque de garde*, qui est solidement fixée au châssis du wagon et maintient invariable l'écartement des essieux.

Fig. 78.



Les voitures, à part quelques exceptions concernant les wagons destinés au transport des marchandises, portent des ressorts qui amortissent les chocs et les secousses des différentes voitures d'un convoi les unes contre les autres ou contre les obstacles qu'elles peuvent heurter.

Quelques ingénieurs préfèrent, pour les convois à grande vitesse, les voitures à 6 roues. Le mouvement de lacet étant moins grand qu'avec les voitures à 4 roues, elles sont

ins sujettes à dérailler, et la caisse, en cas de rupture d'un essieu, soutenue par les deux autres.

En France, on a adopté des voitures à 6 roues pour les chemins de ris à Lyon et d'Avignon à Marseille. On a conservé celles à 4 roues ır les chemins du Nord et de Strasbourg (482).

En Angleterre, les voitures de voyageurs sont en général à 4 roues à 3 compartiments. Sur les chemins où l'on a fait primitivement ıge de voitures à 6 roues, on a supprimé l'essieu du milieu. On uve les voitures à 4 roues plus stables et plus sûres, surtout des qu'on fabrique des essieux assez forts et d'assez bonne qualité ır qu'ils ne cassent plus.

n a encore établi des voitures à 8 roues, mais formant deux trains épendants.

ur le chemin de fer de South-Eastern, on a mis en service des ures à 8 roues ; l'expérience ne leur a pas été favorable.

es voitures de première classe sont ordinairement à trois caisses tenant chacune 8 voyageurs ; celles de deuxième classe, à trois ses de chacune 10 voyageurs, et celles de troisième classe, à quatre ıpartiments de 10 voyageurs.

ur quelques lignes, entre autres celle de Bordeaux à Cette, on a menté la longueur des caisses des voitures de deuxième et de sième classe, de manière à augmenter le nombre des comparti-ıts. Les anciens wagons de deuxième classe coûtent 5 600 fr., et nouveaux, qui contiennent 40 voyageurs, 6 100 fr. ; les anciens, roisième classe, coûtent 5 225 fr., et les nouveaux, qui reçoivent oyageurs, 6 000 fr.

a fig. 78 représente, à l'échelle de 1/50, l'élévation d'une voiture première classe du chemin du Nord.

80. *Poids des voitures et wagons. Chargement. Prix.* Les voitures chemin de fer du Nord sont d'un poids considérable. Le tableau ant donne les poids, roues et essieux compris, des différentes ures de ce chemin.

		kilog.
Voitures à voyageurs	1re classe	5240
	2e classe	5000
	2e à frein	5300
	3e classe	4760
	3e à frein	5113
Trucks	à équipages	3620
	à diligences	1240

e chargement le plus habituel d'un wagon à 4 roues ne dépassait anciennement 5 tonnes ; mais depuis 7 ans, que l'on fabrique des eux plus résistants, on a augmenté les chargements, que l'on t porter à 4 ou 5 tonnes par essieu pour les voies à rails de fortes

dimensions et tracées avec des courbes d'ass
chemin du Nord, les nouveaux wagons à 4 rou
de la houille, se chargent de 10 tonnes, n
4 tonnes de poids mort. Les fusées ont 0m,08 de
longueur.

Les entreprises de messageries transportent l
caisses de leurs voitures, seulement liées sur m
roies. Ce mode de transport n'est pas sans dang
de tout changement brusque de vitesse.

Prix moyen des voitures et wagons (roues, ressorts, boi

Voiture de 1re classe (modèle de Strasbourg).			
—	—	à coupé.	
— de 2e classe,	—	sans guér	
— —	—	avec guér	
— mixte,	—		
— de 3e classe,	—	sans guér	
— —	—	avec guér	
Longueur de la caisse de 1re 5m,50, de 2e 5m,00, de			
Wagon à bagages.			
— à bestiaux			
— à houille, pouvant porter 10 tonnes.			
— plat à marchandises.			
Truck à chaise de poste			
Wagons mixtes du midi en bois de teack. Longueur 7 mètres; sans roues, ressorts, boîtes à graisse garde.			
Voitures de 1re classe d'Orléans en teack. Longueur, 6 roues, ressorts, boîtes à graisse.			
Paire de roues montée (Strasbourg) pesant 750 kilog.			

481. *Essieux, roues, boîtes à graisse et ress*
vent être exempts d'angles rentrants vifs ; les
diamètres doivent être raccordées par des con
on a remarqué que l'altération des essieux bris
dans le voisinage des clavettes que dans les pa
gnées, sur quelques chemins on cale les rou
moyen de trois clavettes, quoique une puisse s

Les fusées des essieux sont presque toujou
des roues, ce qui permet d'en réduire le diamè
sistance due à leur frottement. Il est bon de le
afin de pouvoir, au besoin, les remettre sur le
que les coussinets s'usaient moins rapidement l
grande hauteur aux collets des fusées, et qu'on
térieure plane.

Au chemin de Lyon, les anciennes fusées a
mètre et 0m,127 de longueur ; les nouvelles ont
0m,160 de longueur. On a reconnu que sous la ch

à voyageurs et de 1900 kilog. pour les wagons à marchan-
i correspond à 18 et 23 kilog. par centimètre carré de la
2,7×6,5 = 82^{cq},55 de la fusée, les fusées s'échauffaient
is sans cesser de donner une bonne marche.
x du chemin de fer de Strasbourg à Bâle sont fabriqués en
ept barres de fer plat de 0^m,13 de largeur sur 0^m,027 d'é-
s essieux sont amenés, toujours au marteau et sans faire
étampe, aux dimensions qu'il convient de leur donner
ettre sur le tour; c'est généralement à cet état que les
vrent aux administrations des chemins de fer. Le fer em-
brication des essieux doit avoir été préparé au charbon de
é au marteau.

On fabrique en Angleterre d'excellents essieux au moyen de trousses ou paquets, dont le bout est représenté fig. 79. Une barre ronde *b*, en fer de qualité supérieure, est placée au centre; d'autres, *c*, qui l'entourent, ont la forme de voussoirs, et le tout est maintenu par deux petits cercles placés aux extrémités de la trousse.

nposée, la trousse est chauffée au blanc dans un four à ré-
uis passée au laminoir. Elle est ensuite martelée. On en
xtrémités à la scie circulaire, et des bouts qu'on en retire
au laminoir des barres rondes qui servent pour d'autres

ux de grandes dimensions sont soudés à l'aide d'un mar-
se de 4 à 5 tonnes. Deux chaudes suantes suffisent pour
s toute sa longueur un essieu semblable à ceux dont on
le chemin de Bristol, à voie de 7 pieds. Il faut ensuite
s chaudes modérées pour terminer l'essieu.
i compose les essieux formés de cette manière est entiè-
rveux. On peut faire à froid, avec les barres, le premier
un nœud ordinaire, sans qu'il se manifeste la moindre al-
la surface. Ces essieux se vendent 95 fr. le quintal mé-
à l'usine.
uelque temps, on emploie en Allemagne des essieux en
ı, qui paraissent donner de bons résultats.
blanc, composé de zinc, d'antimoine, d'étain et d'un peu
est assez généralement préféré en Angleterre pour les
de boîtes à graisse. En France, au contraire, on y a re-
r donner la préférence au bronze, composé de 82 de cuivre
étain.
obable que le métal blanc employé en France est de moins
ılité que celui dont on se sert en Angleterre.
hemin de fer dit South-Western, en Angleterre, on inter-

cale avec avantage des bandes de cuir le long des rainures de la boîte à graisse, entre lesquelles frotte la plaque de garde.

Le prix courant des boîtes à graisse à grandes fusées, avec coussinets en bronze, est de 25 à 30 fr.

Les ressorts se faisaient en acier de cémentation, et leur prix était, il y a 10 ans, 2f,40 le kilog.; aujourd'hui, ils se font en acier fondu, et ils ne coûtent à Paris que 2f,20 le kilog.

Les roues ont 1 mètre de diamètre. Deux roues montées sur le même essieu doivent avoir le même diamètre; on ne doit tolérer pendant la marche qu'une différence de 0m,001, car autrement à cause de la fixité des roues sur l'essieu, une des roues produirait un frottement de glissement considérable sur le rail.

Aux chemins de Versailles (rive droite) et de Saint-Germain, les roues ayant 1 mètre de diamètre ont 0m,12 de largeur de jante, y compris le rebord. Dans les anciennes roues anglaises, la largeur de la jante n'était que de 0m,10; mais dans les nouveaux modèles, on l'a portée à 0m,13, afin de diminuer le frottement du rebord de la roue contre le rail; c'est la largeur adoptée sur plusieurs grandes lignes françaises.

Les rais, ainsi que la partie du pourtour de la roue à laquelle est fixé le rebord, sont le plus souvent en fer malléable; quelquefois cependant, mais pour le transport des marchandises seulement, ils sont coulés avec le moyeu, comme pour les wagons de terrassement (478).

La conicité donnée au pourtour de la jante dépend du rayon des courbes qui se trouvent sur le chemin et de la vitesse de circulation. Sur le chemin de Londres à Birmingham, pour un rayon d'au moins 1000 mètres, à l'exception d'une courbe qui est d'un rayon plus petit, l'inclinaison du bandage est de 1/13; sur le chemin de Versailles (rive gauche), le rayon minimum étant de 1200 mètres, cette inclinaison est de 1/12; et sur le chemin de Bâle à Strasbourg, où les courbes sont en petit nombre et d'un très-grand rayon, cette inclinaison est de 1/25. Pour les voitures, les bandages doivent avoir à l'état brut, 0m,035 à 0m,040 d'épaisseur dans la partie la plus mince, et pour les locomotives 0m,045 à 0m,050. Dans ces derniers temps, ces épaisseurs ont encore été augmentées.

Le rebord de la jante doit être fort et calculé de manière qu'il soit usé en même temps que la jante, avec laquelle il se raccorde par un congé très-allongé; le rebord doit être d'autant plus fort qu'il y a plus de courbes sur le chemin et que les rayons de ces courbes sont plus petits. Comme la jante se creuse au milieu, il convient de ménager un chanfrein de 0m,01 de largeur sur tout son pourtour extérieur ou d'augmenter l'inclinaison du bandage vers l'extérieur (le rebord est à l'intérieur de la voie).

e se compose quelquefois de deux cercles superposés, ie sur les rails et un autre qui porte le rebord.
ué dans les usines françaises, notamment à Hayange, composés de deux espèces de fer pour ainsi dire sou- : l'une, nerveuse, qui doit être placée vers l'intérieur 'autre, grenue, qui doit former la partie extérieure du paisseur du nerf est du tiers à la moitié de celle du

es le plus généralement employés en Angleterre sont à ogène, d'un grain fin, aciéreux, bleuâtre. On les fa- la plus grande partie, dans les usines du Yorkshire, à Bowling.
ges anglais sont très-tenaces; les bandages français le es premiers paraissent avoir plus de durée que ces der-

ues chemins anglais, celui de Bristol entre autres, les t en acier. Ils font un bon service, mais ils sont coû- à se rompre; de plus, leur élasticité les fait se redresser pture.
rre, on soumet quelquefois les bandages à un laminage ire, ce qui leur donne les avantages et les inconvénients en acier.
ges de cette espèce, après avoir parcouru 32 000 kilomè- t perdu que 5 livres en poids, tandis que les bandages rdent 15 livres.
nt en fer plat, employé de manière à former ordinaire- ngles dont les sommets se logent dans le moyeu, et s'appuient contre la jante; quelquefois, les trois côtés les sont curvilignes, ce qui augmente l'élasticité; d'au- ase seule est courbe. Il y a quelques années, les cercles t à l'intérieur comme à l'extérieur; mais aujourd'hui, avec une telle perfection que le tournage intérieur est nvient de préparer à la grosse lime la face des rais qui cercle. Les bandes à rebord sont fixées au pourtour de es rivets coniques qui traversent tout le bandage. On a our les roues de machines et tenders sans faux banda- ui ne pénétraient que jusqu'aux deux tiers de la pro- bandage; mais ces vis se desserraient, et on leur a sub- ulons qu'on rive légèrement sur leurs écrous.
bien faite, lorsqu'on la frappe sur les rais avec une ba- , rend un son vibrant, analogue à celui d'une cloche.
er, on rencontre des roues où les rais en fer sont rem- n disque plein en bois, en fonte ou en tôle; cette der- tion a été mise en pratique en France par M. Cavé.

Chemin de Strasbourg. (Extrait du cahier des charges.)

Les dimensions suivantes seront rigoureusement suivies sans tolérance :

Diamètre de l'essieu au calage	0m,110
Écartement des bandages des roues. . . .	1 ,362
Distance d'axe en axe des fusées	1 ,907
Diamètre des fusées	0 ,065
Longueur des fusées.	0 ,127
Inclinaison de la surface des bandages. .	1/20
Largeur des entailles des clefs.	0 ,025
Épaisseur des clefs en acier.	0 ,015

L'épaisseur des bandages devra être de 0m,04 au moins. Au milieu, cette épaisseur pourra être plus forte, pourvu que le profil extérieur s'accorde avec la gabarit, et que les deux roues montées sur le même essieu aient rigoureusement le même diamètre.

Il sera remis au fournisseur un gabarit pour la section des bandages des roues, et un autre pour vérifier les fusées des essieux, leur écartement, etc.

Le trou des moyeux de chaque roue sera alésé tellement juste qu'il pourra s'adapter indistinctement à tous les essieux, et son frottement sera tellement dur, qu'il ne puisse ni s'y placer, ni en être retiré qu'à l'aide d'une puissante presse mécanique ou hydraulique quelconque. (La pression employée pour faire pénétrer l'essieu dans le moyeu est de 40 000 kil. environ ; elle rend les clavettes à peu près inutiles.)

Les essieux seront tournés sur toute leur longueur. Les parties coniques et les parties cylindriques du milieu de l'essieu seront dégrossies au tour. La position et la dimension des fusées et des parties porte-roues devront être parfaitement identiques sans tolérance. Les entailles des clefs seront parfaitement alignées et parallèles à l'axe de l'essieu.

Les bandages seront tournés sur toutes leurs faces.

Les clefs en acier seront exactement calibrées, et leurs entailles sur l'essieu seront parfaitement dressées, de manière que les clefs portent d'un bout à l'autre sur toutes leurs faces.

Les essieux seront en fer purement au bois de première qualité, corroyé au martinet, et provenant de fonte au bois pur. Ils peuvent être soumis aux épreuves adoptées pour les essieux de l'artillerie (472).

Chaque essieu sera forgé avec un excédant de longueur de 5 à 6 centimètres à chaque bout. Cet excédant, après avoir été réduit sur le tour au diamètre d'environ 70 à 80 millimètres, sera rogné de la manière qui sera indiquée par l'agent de la compagnie chargé de suivre la fabrication.

Tout essieu dont la fracture, à ses deux extrémités, n'annoncerait pas un fer nerveux et bien soudé, pourra être refusé.

Les fragments, marqués au nom du fabricant et au numéro de l'essieu dont ils proviennent, seront conservés par la compagnie comme pièces justificatives de la qualité des fers employés.

TABLEAU des dimensions ordinaires des roues et essieux de wagons (Extrait du *Traité des machines à vapeur* de M. Gaudry.)

Diamètre des roues au roulement	1m,00
Épaisseur du bandage rapporté.	0 ,04 à 0m,05
Largeur *id.*	0 ,11 à 0 ,15
Longueur *id.*	0 ,18 à 0 ,20
Diamètre du moyeu en fonte.	0 ,30
Nombre des bras en fer plat de 0m,013 à 0m,016 d'épaisseur sur 0m,075 à 0m,080 de largeur.	7 à 10

Diamètre de l'essieu, au calage	0m,11 à 0m,12
Id. au milieu	0 ,09 à 0 ,10
Id. à la fusée	0 ,06 à 0 ,08
Longueur de la fusée	0 ,12 à 0 ,17
Écartement des essieux	2 ,40 à 3 ,35
Poids d'un essieu	130k à 160k
Poids d'une roue	310 à 380
Poids d'une paire de roues sur son essieu	725 à 875
Écartement latéral intérieur des roues	1m,37 à 1m,38
Prix par 100 kilog.	85f à 130f

ous extrayons les quelques chiffres suivants, relatifs au chemin er du Nord, d'un mémoire publié par M. Nozo, ingénieur des ate-s de ce chemin, dans le *Bulletin de la Société centrale des ingé-rs civils.*

u chemin de fer du Nord, il faut retourner environ 7500 à 8000 es de roues montées, et fabriquer et poser 1900 à 2000 bandages année.

expérience a démontré que les roues sans faux cercle résistent ns bien et sont d'un entretien plus coûteux que celles à faux le.

es premières fusées des essieux montés des wagons avaient 0m,060 liamètre et 0m,127 de longueur; mais l'expérience a prouvé que ır de longs parcours et de grandes vitesses, des fusées aussi pe-s s'échauffent, et l'on a porté leur diamètre à 0m,075 et leur lon-ur à 0m,200. Les premières étaient remplacées par ces dernières qu'elles pénétraient dans une jauge de 0m,057 de diamètre.

es fusées de tenders avaient, à l'origine de l'exploitation, 0m,080 diamètre et 0m,180 de longueur. Dès que ces fusées pénétraient ıs un calibre-jauge de 0m,076 de diamètre, les essieux étaient rem-ıcés par d'autres dont les fusées avaient 0m,095 de diamètre et 0m,190 longueur.

'our les essieux montés de support des machines système Ste-nson, les fusées, qui sont intérieures, avaient primitivement 140 de diamètre et 0m,160 de longueur; on leur a conservé le même mètre, mais on a porté leur longueur à 0m,170. Quant aux essieux teurs, on a donné aux fusées, qui sont également intérieures, 160 de diamètre et 0m,150 de longueur.

'our les machines à grande vitesse, système Crampton, les fusées, i sont extérieures, des essieux d'avant ont 0m,150 de diamètre et 300 de longueur; celles de l'essieu du milieu, qui sont extérieures ssi, ont 0m,130 de diamètre sur 0m,252 de longueur, et celles des ieux moteurs, qui sont intérieures, ont 0m,180 de diamètre sur 260 de longueur.

Les bandages sont généralement maintenus en service tant qu'ils

conservent d'épaisseur, après dernier rafraîchissage au tour, 0m,030 pour roues motrices, 0m,025 pour roues de support et tenders, et 0m,020 pour roues de voitures et wagons.

La plupart des bandages arrivent à ces épaisseurs limites après trois rafraîchissages pour les machines ou tenders, et quatre pour les wagons.

Le parcours moyen des bandages, depuis la mise en service jusqu'à la mise au rebut, est approximativement :

Bandages	de voitures et wagons	50 000 kilom.
Id.	de roues de support.	50 000
Id.	de roues motrices	45 000
Id.	de roues de tenders	35 000

L'épaisseur du bandage a été portée à 0m,055 pour toutes les roues wagons et locomotives; la largeur totale du bandage est 0m,130 pour les wagons et 0m,140 pour les locomotives; l'inclinaison de la surface est de 1/20, et depuis environ l'aplomb de la face extérieure du rail, c'est-à-dire sur à peu près 0m,035, cette inclinaison est de 3/20.

482. *Châssis de voitures à voyageurs de 1re, 2e et 3e classe.* (Extrait du cahier des charges du chemin de fer de Strasbourg.)

Chaque châssis devra pouvoir s'ajuster indistinctement sur tous les essieux, et recevoir, sans aucune modification, toutes les caisses de voitures de la même classe.

8 boulons, dont la position sera rigoureusement fixée à l'aide d'un gabarit et d'après les indications des ingénieurs, fixeront la caisse au châssis.

Le châssis se compose d'un cadre en charpente formé de deux brancards de 0m,25 sur 0m,11, reliés par 5 traverses de 0m,25 sur 0m,10, et par un système de croix de Saint-André, dont la face supérieure affleure la face supérieure des brancards.

Les plaques de garde seront fixées à l'intérieur des brancards par 4 boulons chacune dans une entaille de 1 centimètre de profondeur.

Tous les boulons seront goupillés afin d'empêcher les écrous de se desserrer.

Les ressorts seront en acier à ressorts de première qualité (484), lames étirées et assemblées *sans séparation entre elles;* chaque lame sera reliée à sa voisine par des étoquiaux. Ils seront reliés au châssis par des mains en cuir et par des vis de rappel traversant des supports en fer forgé invariablement fixés aux brancards (fig. 78).

(Les chaînes d'attelage doivent être en bon fer à câbles; mais il ne paraît pas nécessaire que toutes les ferrures soient en fer fabriqué au charbon de bois et au marteau, comme l'exige le cahier des charges pour les voitures de plusieurs chemins de fer; cette condition ne devrait s'appliquer qu'aux ferrures qui fatiguent le plus.)

Caisses. Sur le chemin de Paris à Strasbourg, les caisses des voitures de 2e classe ont 1m,58 de longueur, tandis que celles du Nord n'ont que 1m,48.

Sur le chemin de Lyon, les voitures sont à 6 roues, comme au chemin d'Avignon à Marseille, et les caisses des voitures de 2e classe ont 1m,64 de longueur (479).

Au chemin de fer du Nord, on a essayé des voitures de 3e classe dans lesquelles une banquette régnait sur tout le pourtour de la voiture, et il y avait en outre au milieu deux banquettes placées en

dans les omnibus. Le public ne pouvait entrer ou sor-
eux portières de chaque côté, ce qui était insuffisant.

U des principales dimensions intérieures des caisses de voitures à voyageurs, sur quelques lignes.

.	1re CLASSE.			2e CLASSE.			3e CLASSE.		
	Longueur.	Largeur.	Hauteur.	Longueur.	Largeur.	Hauteur.	Longueur.	Largeur.	Hauteur.
	m	m	m	m	m	m	m	m	m
ourg. . .	1.74	2.26	1.75	1.58	2.26	1.75	1.33	2.28	1.70
. . . . .	1.80	2.40	1 75	1.48	2.26	1.75	Omnibus.		
ogne. . .	1.80	2.40	1.75	1.76	2.26	1.75	1.32	2.26	1.75
. . . . .	1.75	2.40	1.75	1.84	»	1.75			
s (dernier	1.70	2.40	1.38	1.55	2.26	1.55			
. . . . .	1.60	2.40	1.45	1.50	2.26	1.56	1.50	2.29	»

:ahier des charges du chemin de fer de Strasbourg.) Les caisses des eurs seront rigoureusement conformes aux plans d'ensemble remis aux vêtus de la signature des administrateurs et joints au traité.

devra s'ajuster indistinctement sur tous les châssis de voitures de la

oyés seront de premier choix, sans nœuds vicieux, roulures, malandres, autres défauts; ils auront au moins 3 années de coupe, dont un an au en plateaux; dans cet état de sécheresse, et 3 mois avant la construc-, ces plateaux seront réduits aux dimensions voulues, suivant les plans .

seront en chêne; les battants des pavillons, les pieds et les travaux seront en chêne ou en frêne; on ne fera usage de l'orme ou du hêtre tites traverses de remplissage; les baguettes seront en noyer.

glaces, les ventilateurs et la frise intérieure seront en acajou. Ces tous avoir exactement les mêmes dimensions, afin de pouvoir servir in- toutes les voitures d'une même classe; il en sera de même de toutes es des diverses caisses.

x extérieurs seront en tôle forte de première qualité, pesant $7^k,25$ le n plané, de manière à présenter une surface parfaitement unie.

illons seront couverts en feuilles de zinc n° 14, de la meilleure qua- res seront en cuivre, s'engageant sous le zinc et se reliant à des cor-

gé dans les pavillons de 1re classe, et au milieu de chaque comparti- rture pour recevoir une lampe d'intérieur.

rrures seront faites en fer au bois de la meilleure qualité, ou en fers a qualité aura été constatée et approuvée par les ingénieurs de la com- eront travaillées et parées avec soin, sans brûler, suivant les règles de

sera faite avec les plus grands soins et avec des couleurs de qualité su- nploiera, pour les premières couches, du vernis de première qualité, et re, du vernis anglais pur.

niture des voitures de première classe sera rembourrée de crin blond de

la plus belle qualité (Aujourd'hui, on n'emploie que 55 à 60 kilog. de crin pour chaque caisse d'une diligence; ce crin vaut de 3f,50 à 4 fr. le kilog. à Paris. On donne la préférence au drap couleur noisette, qui ne coûte que 11 à 12 fr. le mètre.)

Conditions applicables aux caisses de 2e classe. Les voitures de 2e classe seront divisées en 3 caisses, dont chacune sera desservie par deux portières et pourra contenir 10 voyageurs.

Il sera ménagé aux deux cloisons une ouverture pour recevoir une lampe d'intérieur.

Les caisses seront garnies en fort coutil de fil rayé.

La rembourrure sera faite en deux couches : la première de filasse, l'autre de crin.

Par voiture, on emploiera 60 kilog. de filasse et 30 kilog. de crin de bonne qualité.

Conditions applicables aux voitures de 3e classe. Les voitures de 3e classe seront divisées en 4 caisses, dont chacune pourra contenir 40 voyageurs et sera desservie par deux portières.

Les voitures seront couvertes, et fermées latéralement par des rideaux.

Il n'y aura pas de garniture intérieure.

Les caisses seront livrées montées sur leurs châssis garnis des roues et essieux; le tout complet, peint et prêt à fonctionner.

Les frais de transport et autres, s'il y en a, jusqu'à la livraison, seront à la charge du fournisseur.

La compagnie se réserve le droit de faire suivre la construction par ses ingénieurs.

Le prix de chaque caisse complète sera payé, savoir : neuf dixièmes après sa réception, et un dixième après le délai de garantie.

Pour les teintes vertes, on préfère le vert-de-gris au vert de Scheele; pour les teintes jaunes, on emploie le jaune de chrome; pour les bleues, le bleu de Prusse; pour les brunes, le rouge de Van Dyck mélangé, suivant les teintes, de noir d'ivoire, de terre d'ombre ou de terre de Cologne, avec jaune d'ocre ou terre de Sienne.

En Angleterre, on fait un assez grand usage du *papier mâché* pour les panneaux des voitures de voyageurs et le doublage intérieur des caisses. Pour les wagons à marchandises construits en bois de chêne, on se contente souvent d'une peinture à l'huile bouillante, qui paraît préférable à la peinture ordinaire. Les voitures en bois de teck sont seulement vernies.

483. ***Conditions générales du cahier des charges relatif à la construction des voitures à voyageurs et des wagons divers.***

Les séries de voitures et wagons admises par la compagnie sont les suivantes :

Série A, voitures de première classe		pour grande vitesse.
AB, — mixtes		
B, — deuxième classe		
C, — troisième classe		
D, wagons à bagages		
E, trucks à équipages		
F, wagons à écuries		
G, — couverts à marchandises		pour petite vitesse.
H, — à côtés tombants		
I, — à houille et minerais		
K, trucks à maringottes et fers		

Tout le matériel précité sera à quatre roues. Les voitures et wagons à grande vitesse

s de ressorts de traction et choc en acier. Ce sont : les voitures à voya- classes ; les wagons à bagages, les trucks à équipages et les wagons à ons à petite vitesse sont munis de ressorts de traction et d'appareils ons couverts à marchandises, les wagons à côtés tombants, les trucks fers ont des tampons garnis de rondelles en caoutchouc vulcanisé, ou s de choc en acier, au choix de l'ingénieur en chef du matériel et de ns à houille et minerais seuls ont des tampons en cuir garnis d'étoupes

matières premières employées, ainsi que le fini de l'exécution, ne ucun cas, être inférieurs à ce qui se fait de mieux actuellement pour emins de fer. Chaque voiture ou wagon portera : le nom des construc- de construction ; l'indication de sa série et son numéro d'ordre dans n toutes les indications demandées par la compagnie pour charge, lication de classe, etc.

ntrôle est réservé à tous les agents de la compagnie dans les ateliers ruites les voitures et toutes les pièces qui en dépendent, soit dans entrepreneur lui-même, soit dans les ateliers de tous les constructeurs compagnie l'aura autorisé à sous-traiter. Ce droit comporte celui ateliers des matières premières employées, dans la limite où il est gé- is pour les constructions analogues ; quels que soient ces essais, ils harge des constructeurs.

de tous les boulons, écrous, vis de toute espèce ne pourra être fait que ceux livrés comme types par la compagnie au constructeur. Tous les ois à tenons et mortaises auront lieu avec un congé de 10 millimètres ulement des tenons ; les intérieurs des mortaises, les faces de jonction recevront une épaisse couche d'impression à la céruse avant d'être es fois qu'une pièce en fer devra être appliquée sur le bois, la partie du bois recevra une couche épaisse d'impression également à la céruse. ont être assemblés à frottement dur ; on ne tolérera ni cales ni rem- faces de jonction devront être coupées avec la plus grande précision. aucune espèce de jeu dans les trous des boulons d'assemblage. Dans ne pièce, quelle qu'elle soit, ou un ensemble quelconque de pièces d'une être mis à la place de la pièce ou de l'ensemble des pièces semblables ture. Pour chaque série, un état détaillé du poids des pièces en métal, es en bois, du nombre des pièces comptées au nombre, sera adressé chef du matériel, après la construction des cinq premières voitures ou que série. Tous les frais, de quelque nature qu'ils soient, nécessités par des voitures et wagons, sont à la charge des constructeurs jusqu'au oitures doivent être livrées.

et wagons seront reçus par les agents de la compagnie : « en blanc et dans les ateliers de construction ; l'autorisation de peindre ne sera s cette réception ; une deuxième réception, provisoire également, sera aque voiture ou wagon sera prêt à entrer en service ; l'autorisation de née après cette réception ; la réception définitive aura lieu pour chaque un parcours fixé à 6000 kilom. ce parcours est réservé pour la constata- xécution et pour la garantie de la compagnie. » — La garantie à laquelle constructeurs, consiste dans le remplacement immédiat, à leurs frais, de ui pourraient être reconnues défectueuses de forme, de montage ou de le parcours stipulé. Les réparations nécessitées par l'usure rentrent dans ant et sont en dehors de cette garantie. Cette garantie ne s'étend pas non d'accidents de service ne provenant pas de la faute du matériel fourni. Les châssis de chaque série de voitures ou wagons seront en chêne de t tous faits sur un type uniforme ; les châssis auront en longueur partie 6m,70 ; dans les premiers l'écartement des essieux sera 3m,30, dans les . Toutes les voitures et wagons, à l'exception des voitures de première

et troisième classe et des wagons de bagages, auront des châssis de 6m,10 de longueur; les voitures et wagons des séries B, C, D auront des châssis de 6m,70 de longueur. Chacun des châssis pourra être monté indifféremment sous chacune des caisses des séries auxquelles il doit se rapporter, et réciproquement. Pour assurer cette précision, un gabarit *ad hoc* sera établi par les constructeurs pour chaque genre de châssis; ce gabarit devra être poinçonné par les agents de la compagnie. Tous les bois employés, tant pour les châssis que pour la caisse, devront avoir au moins trois ans de coupe, dont un an de débit en plateaux; dans ce dernier état, ils seront contrôlés par un agent de la compagnie, et les bois admis recevront la marque au poinçon. Le châssis se compose d'un cadre en charpente formé de deux brancards de 25 centimètres sur 10, reliés par cinq traverses de 25 centimètres sur 10 et par un système de croix de Saint-André, dont la face supérieure affleure la face supérieure des brancards. Les assemblages seront faits à doubles tenons et mortaises pour les abouts des brancards et des traverses intermédiaires, et à simples tenons pour les abouts des croix; le milieu des croix sera assemblé à mi-bois; les traverses intermédiaires seront entaillées des tiers de l'épaisseur des croix, qui seront entaillées d'un tiers de leur épaisseur, à leur point de jonction, afin d'affleurer la face supérieure des brancards. La réunion des assemblages sera effectuée au moyen de grands boulons transversaux, de boulons à pattes, d'équerres doubles et simples. Deux entre-toises en fer forgé sont placées transversalement sur les brancards et entaillées, de leur épaisseur, pour recevoir des boulons d'attache des caisses.

Deux chaînes de sûreté terminées par des crochets en fer forgé sont fixées à chaque extrémité du châssis. Chaque châssis portera, par des suspensions en fer forgé, des doubles marche-pieds, composés de deux grandes palettes inférieures et de six palettes supérieures, une en face de chaque portière.

Essieux montés. Les roues et essieux seront conformes au plan approuvé par l'ingénieur en chef du matériel. Les dimensions des éléments suivants seront suivies sans aucune tolérance, conformément aux devis : diamètre extérieur du faux cercle; diamètre de l'essieu au calage; écartement des bandages des roues intérieurement; distances d'axe en axe des fusées; diamètre des fusées; longueur des fusées; inclinaison de la surface des bandages; largeur des entailles des clefs; épaisseur des clefs en acier; l'épaisseur des bandages au milieu; les divers gabarits qui serviront à la construction de ces roues, tels que ceux des sections des bandages, de vérification des fusées, des essieux, d'écartement des roues montées, etc., devront avoir été préalablement soumis à la vérification de l'ingénieur du matériel.

Le trou du moyeu de chaque roue et la partie correspondante de chaque essieu seront alésés et tournés avec une précision telle, qu'une roue quelconque puisse s'adapter indistinctement à tous les essieux et que les frottements soient assez résistants pour que cette roue ne puisse être placée ou retirée qu'à l'aide de la presse hydraulique. Les calages faits avec le concours de cette machine le seront à une pression supérieure à 20 000 kilogr. Les essieux seront tournés avec soin aux fusées et aux parties porte-roues. La position et les dimensions des parties porte-roues et des fusées devront être parfaitement identiques sans tolérance. Les entailles des clefs seront parfaitement alignées et parallèles à l'axe de l'essieu. Les clefs en acier seront exactement calibrées, et leurs entailles sur l'essieu seront parfaitement dressées, de manière que les clefs portent d'un bout à l'autre sur toutes leurs faces.

La qualité du fer employé dans la construction des roues et surtout des essieux devra être excellente. La compagnie aura le droit, pour s'assurer de la bonne qualité de ces essieux, de leur faire subir toutes les épreuves qu'elle jugera convenables, en restant toutefois dans les limites où se tiennent généralement les compagnies des chemins de fer français. Le moyeu de la roue sera en fonte douce de deuxième fusion, de première qualité, coulée lentement; on fera passer au travers du moule une quantité de fonte double de celle nécessaire pour former ce moyeu, de façon à donner aux rais la température nécessaire pour déterminer le degré de cohésion convenable entre le fer et la fonte. Le nom du fabricant devra être placé sur chaque moyeu du côté de la fer

chaque essieu. Chaque essieu devra porter en outre, gravé d'une ma-
on numéro propre. La qualité des bandages devra être parfaite et égale
de mieux en ce moment sur les chemins de fer français.

rde. Le montage des plaques de garde au châssis aura lieu à l'aide d'un
né par les agents de la compagnie; la plus grande précision devra être
ntage. Les trous des plaques de garde devront être percés avec l'aide
n qu'une plaque de garde quelconque puisse être mise à la place d'une
besoin de donner de l'ovale au trou. On ne tolérera aucun défaut ni
ons de ces pièces cotées au dessin, ni dans leur construction. Les bou-
être goupillés seront indiqués sur les dessins. La position de la ligne
indiquée de la manière la plus exacte; nulle tolérance ne sera admise
des tiges de traction. Chaque crochet de traction portera une double vis
s ronds. Chaque traverse extrême de châssis portera les supports pour
aux dessins; les supports de lampes indiqués pour les caisses seront
eds extrêmes.

se. Les boîtes à graisse seront en fonte douce et assez bien venues pour
s puissent s'y loger d'une manière exacte sans retouches. Un gabarit
la boîte devant recevoir le coussinet, sera remis aux constructeurs
pprouvé par l'ingénieur du matériel; les boîtes ne recevant pas ce ga-
u jeu seront refusées. Les rainures destinées à recevoir les plaques de
ssées également au gabarit. Le plus grand soin dans le montage devra
façon que l'axe du coussinet soit exactement perpendiculaire à la posi-
e de garde déterminée par les rainures latérales de la boîte.

seront en bronze pur; le titre de l'alliage sera de 84 de cuivre rouge
'étain anglais. Les coussinets seront alésés avant leur montage; ainsi
e dit, les plus exactes précautions seront prises pour qu'un coussinet
sse s'adapter à une boîte prise au hasard, et pour plus de sûreté, un
et un gabarit extérieur seront passés sur chaque coussinet.

a boîte sera en tôle douce; elle devra fermer convenablement la boîte
sous de la boîte devra entrer librement, mais cependant sans jeu, dans
; les trous dans la boîte et le réservoir devront être parfaitement droits
à l'autre; leur écartement devra être invariable pour toutes les boîtes;
passés au gabarit.

dessins de détails pour la fabrication des ressorts de chaque série, de-
ntés par le constructeur à l'approbation de l'ingénieur du matériel;
seront remises les spécifications des conditions d'établissement de ces
ne : flèche de fabrication, charge d'aplatissement, degré de flexibi-
matières employées dans la fabrication des ressorts seront, pour les
es, de l'acier fondu à ressorts de première qualité, et pour les feuilles
acier au bois martelé de qualité tout à fait supérieure.

rts seront essayés avant d'être mis en place, sous un poids de 2000 kilog.
ceux de suspension, et 2400 kilog. pour chacun de ceux de choc et
les épreuves de réception, chaque ressort sera poinçonné par un agent
e; il devra en outre porter sa lettre de série et son numéro d'ordre
, gravés d'une manière distincte sur la maîtresse feuille.

a face supérieure des ressorts de suspension, mesurée sous le poids de
sera de 6 centimètres. Les ressorts de choc et de traction seront placés
âssis et auront naturellement une tension permanente; ils seront main-
ux cadres en fer forgé, fixés aux traverses par l'intermédiaire des sup-

traction, dont une des deux extrémités de chacune est engagée dans
sort, sont terminées à l'autre extrémité par un fort crochet, à l'arrière
iqué un trou allongé pour recevoir la double vis d'attelage. Les tiges de
par des heurtoirs en fer, forgés à même et guidés dans des blocs en fonte

et dans un sabot en fonte, portent, à leur extrémité opposée a
en fonte qui appuient contre l'extrémité des ressorts de choc.

La garantie des ressorts reste fixée au parcours imposé aux
sorts qui ne pourront subir ces parcours seront immédiatemen
l'entrepreneur. La garantie de bonne exécution à laquelle co
naires, est fixée à une année de la date de la livraison des vo
tiennent ces ressorts. La garantie à laquelle sont astreints les c
toutefois que dans le remplacement immédiat, à leurs frais, d
porteraient mal en service.

Les dessins ou types des tampons de choc à rondelles de c
ront suivis par les constructeurs avec la plus scrupuleuse e
oreilles des tampons seront percés d'une manière semblable et
gabarit; il en sera de même pour les trous correspondants dan
Les rondelles en caoutchouc vulcanisé seront de qualité par
les différences de température atmosphérique.

Les conditions de garantie pour ces tampons sont égalemen
posé aux voitures auxquelles ils appartiennent.

Caisses des voitures. Les voitures, en général, seront cou
n° 14; les rigoles seront en cuivre rouge ou en toiles imperm
première classe auront double pavillon. Pour les voitures de p
pour les voitures mixtes à compartiments de première et de c
les voitures de deuxième classe, les échantillons des étoffes,
de garnitures divers devront avoir été approuvés avant leur e
matériel; moitié des échantillons ainsi approuvés restera entre
de la compagnie, à titre de pièces justificatives; l'autre moitié
teurs, estampillée au timbre de la compagnie.

L'*intérieur des voitures* sera disposé ainsi qu'il suit : *les co
à voyageurs de première classe* seront disposés pour recevoir
banquette sera partagée en deux par un accoudoir au milieu
pour former la stalle; un accoudoir existera à chaque extrémi
voiture aura trois compartiments. L'intérieur des caisses de p
en drap gris clair, galons larges et étroits en laine et soie
drap; le drap sera décati, doublé en toile pour empêcher
la garniture sera rembourrée en crin de première qualité. L
vrira les parois, la frise, le plafond et en général toutes le
plafond et la frise seront ornés de galons; la rembourrure d
et dossiers sera aussi confortable que celle des meilleures v
chemins de fer français. Les angles seront arrondis, les acc
cordons de glaces et des cordons des pilastres, seront garnis
ront terminés par des glands et retenus par des brides; il y a
pour tirer les portières et les fermer de l'intérieur de la v
plissées ainsi que leurs galons et auront la même longueur q
garniture rembourrée au-dessous d'elles devant les traverse
dans chaque compartiment quatre coussins piqués dont le f
de 12 centimètres de large, et le dessous sera garni de mare
de même nuance que le drap; on pourra les retourner à volo
garnies en drap piqué bordé de galons. Les tirants des portière
galons. Les rideaux, de même que les stores, seront en mér
chaque compartiment sera recouvert en toile cirée faisant che
Des filets pour chapeaux, etc., seront disposés à l'intérieur.
portières seront en verre double, blanc, de première qua
éclairée intérieurement par une lanterne munie de son store
d'un tapis en moquette rose, doublé en dessus de coutil de
des voitures de deuxième classe sera divisé en quatre compart
tenir dix voyageurs chacun. L'intérieur des compartiments

garniture des dossiers et accoudoirs s'arrêtera au niveau de la partie
aies de glaces de côté. Elle sera lisse, sans piqûres extérieures; la rem-
avec filasse et crin de première qualité. Il y aura deux coussins par
dessous de ces coussins sera garni de fort coutil ordinaire. Les châs-
portières auront des cordons en cuir de vache. L'intérieur au-dessus
ainsi que le pavillon, sera peint couleur de chêne. Deux lampes d'inté-
les quatre compartiments de ces voitures. Les *voitures mixtes* pour-
espèces, soit à deux compartiments de deuxième classe et un compar-
ère, soit à deux coupés de première classe et deux compartiments de
; dans l'un comme dans l'autre cas, les dispositions des caisses à l'in-
elles des caisses de même espèce des séries de première et deuxième
ures de troisième classe seront aménagées par banquettes intérieures
ec dossier à mi-hauteur en cinq compartiments; chaque compartiment
devra pouvoir recevoir dix voyageurs. L'intérieur des voitures de troi-
sera pas garni, il sera peint en chêne; les voitures seront entièrement
ssis seront munis de glaces en verre simple ordinaire; deux lampes
reront ces voitures.
s voitures à voyageurs aura lieu de la manière suivante : pour les *voi-
re classe*, la peinture extérieure sera faite en bleu d'outremer glacé
l'encadrement des baies, les custodes seront peintes en noir d'ivoire;
moulures réchampies en noir d'ivoire; les filets seront en vermillon an-
s et numéros de séries, ainsi que les initiales de la compagnie et l'in-
lasse, seront peints sur les deux faces latérales de la caisse, en or; la
ieu suivant ce détail extérieurement : deux couches d'impression au
; six couches d'apprêt; ponçage jusqu'à l'impression; une couche de
ivant la couleur des fonds; mastiquer au vernis et poncer; deux cou-
eue d'outremer; un glacis au vernis; une couche de vernis et polir; re-
eindre les lettres, numéros et indications diverses; vernir en dernier
is anglais pur. La peinture des trains sera composée de : une couche
la céruse, mastiquer; deux couches de noir mat; une couche de vernis
s bois à l'intérieur recevront une couche d'impression à la céruse en gris
ire. Les *voitures de deuxième classe* recevront à l'extérieur exactement
re que les voitures de première classe, sauf les indications, lettres et
u lieu d'être en or, seront simplement en vermillon anglais de pre-
a peinture intérieure dans les parties non garnies se composera, pour les
illon, de : une couche d'impression à la céruse, passée au papier de
née; une couche de gris à la céruse; deux couches de fond couleur bois;
vernis à polir, polissage des mastics, peindre en bois de chêne; une
s à finir. Le plancher recevra une forte couche d'impression à la cé-
iches de noir mat. La *peinture extérieure des voitures mixtes* sera faite
me celle des voitures de première classe et de la même teinte; les in-
isses de première classe seront faites en or; celles des autres caisses
vermillon anglais de première qualité. La *peinture extérieure des voi-
me classe* sera exactement la même que celle des voitures de deuxième
einte qui sera vert naturel. La peinture intérieure sera, sans nulle ex-
lable à celle des voitures de deuxième classe dans les parties non

agons. Les wagons couverts, en général, comprenant les *wagons à ba-
écuries* et ceux *à marchandises*, seront couverts en toile sablée, de la
ée plus bas. Les *wagons à bagages* seront aménagés avec coffre formant
iens au-dessous. Ces wagons seront fermés par deux portes à deux ven-
e face glissant dans des tringles extérieures. Ils seront éclairés pen-
par quatre petits châssis vitrés fixes; pendant la nuit, au moyen
d'intérieur protégée par une double croix en fer. Le siége du fac-
n sera assez élevé pour qu'il puisse, étant assis, voir facilement le

dessus des voitures; il sera surmonté d'une guérite vitr
gons à équipages seront livrés munis de courroies destin
Ces wagons auront deux côtés tombants; ce sont les deux
faire pont-levis au-dessus des tampons de choc et qui se
clore ce wagon après chargement. Les *wagons à écuries* se
dans le sens de la voie, séparés par des cloisons à deux tier
pavillon; ils seront éclairés par deux grandes baies garnies d
timents seront rembourrés dans tous les sens et garnis lat
la face postérieure, en vache; un râtelier mobile sera à la
sition du palefrenier. Un compartiment pour le palefrenier
téralement par des châssis fermés par des rideaux en cuir,
wagons à marchandises seront complétement clos et cou
wagons se fera comme celle des wagons à bagages, à l'aide
glissant sur deux tringles extérieures; une ouverture mén
des parois latérales de chaque côté, sera recouverte par u
la couverture du wagon; des cordes serviront à fixer ces r
le long de la caisse. Ces wagons seront capables de recevo
10 000 kilog. sans détérioration. Les caisses des *wagons à*
à chaque face latérale une large porte fermant à deux vent
latérales s'élèveront de 1 mètre au-dessus du plancher, c'es
première traverse; le reste sera à jour, ainsi que le toit; le
reront le pignon d'un toit triangulaire. La charge que ces
supporter, sans détérioration, sera de 10 000 kilog. Les *wa*
sans caisses; un plancher règne sur le châssis; sur ce plan
en chêne transversales empêcheront la charge de venir l'e
vront porter ces wagons sera de 10 000 kilog.

La *peinture des wagons* sera faite de la manière suivant
gages, la peinture extérieure de la caisse sera faite ainsi q
pression à la céruse; passer au papier de verre et mastiqu
céruse; deux couches de fond en vert prussique, ferrures e
nis français, polir; peindre les lettres et les indications di
une couche de vernis français. La peinture intérieure de la
couches de gris à la céruse; une couche d'impression, m
teintes en gris. La peinture des trains sera composée de :
la céruse, mastiquer; deux couches de noir mat; une co
trains. Pour *tous les autres wagons*, y compris les wagons
trucks à maringottes et fer, les peintures seront faites ai
des caisses sera faite : une couche d'impression, deux couc
vernis; lettres et numéros, etc., au vermillon relevé d'un fi
intérieure des caisses sera faite ainsi : une couche d'impressi
dont une au vernis. Enfin, la peinture des châssis sera faite
au gris à la céruse; une couche de noir mat; une couche d

Les *couvertures en toile* des wagons destinés à être c
ainsi : une couche d'impression à la céruse sur le treillis, u
grasse; sabler; une seconde couche de gris à l'huile grass
deuxième couche en noir. Toutefois, la compagnie se rése
constructeurs l'achat des toiles sablées pour couvertures,
toiles ayant fourni déjà aux chemins de fer. Un échantillon
approuvé par l'ingénieur du matériel de la compagnie.

La quantité des voitures ou wagons que la compagnie dés
niques sera indiquée en temps aux conducteurs. Ces freins
les meilleures conditions admises aujourd'hui sur les chemins
sent, des freins à mains sont indiqués comme obligatoires p
chandises, pour ceux à côtés tombants, pour ceux à houil
trucks à maringottes et fers, en un mot, pour tous les wag

s soumissionnaires s'engagent à subir une retenue do 5 fr. par jour voiture, à quelque série qu'elle appartienne.

des prix qui seront convenus entre la compagnie et le soumission-ront de la manière suivante : 75 p. 100 après la réception des voitures des constructeurs; 25 p. 100 après la réception de ces voitures dans

ditions spéciales au cahier des charges pour les wagons.

ns seront à quatre roues et seront rigoureusement conformes aux remis aux fournisseurs, revêtus de la signature de l'ingénieur en agnie. Des plans de détail, cotés de grandeur d'exécution, revêtus de l'ingénieur en chef du matériel, seront remis aux fournisseurs parties qui lui paraîtraient exiger cette mesure. Chaque châs- s'ajuster indistinctement sur tous les essieux et recevoir, sans au- n, toutes les caisses de wagons. Chaque caisse sera établie de manière er indistinctement sur tous les châssis de wagons. Toutes les caisses fixées au châssis par huit boulons et écrous. La position de ces bou- à l'axe de la caisse, sera rigoureusement déterminée sans aucune to- ructeur s'engage à faire un gabarit en fer, suivant les indications qui s par l'ingénieur en chef du matériel pour déterminer la position de

yés seront de premier choix, sans nœuds vicieux, roulures, malan- s ou autres défauts; ils auront au moins trois années de coupe, et six débit en plateaux. Dans cet état de sécheresse et trois mois avant la wagons, ces plateaux seront réduits aux dimensions voulues, suivant ar les plans de la compagnie des chemins de fer. Tous les tenons re- les surfaces intérieures des mortaises, avant l'assemblage, une bonne r à l'huile de lin. Toutes les faces de jonction de toutes les autres vent les ferrures, seront également enduites d'une forte couche de . Tous les tenons devront entrer à frottement très-dur dans les mor- era aucune cale ou remplissage. Les parois seront drossées au rabot soin, à rainures et languettes. Les brancards, les pieds montants et nt en chêne.

teront deux plaques en fonte ou en zinc indiquant le nom du con- ques seront fixées sur les brancards au moyen de vis à bois.

assemblages sera effectuée au moyen de boulons à pattes et d'équerre, de seront en fer forgé, ne seront pas entaillées et seront fixées à l'in- ards par sept boulons chacune. Le soin le plus minutieux devra être ose des plaques de garde, elles devront être placées avec un gabarit. chaque châssis devra être établie par un tracé géométrique sur des laires à la ligne de traction. Les boulons qui les fixent aux brancards nd, tous du même diamètre, et entreront à frottement dans le bois r. Les filets des boulons ne dépasseront pas la tige, ils devront même éviter de faire des trous plus grands. Les trous des plaques de garde près un calibre afin qu'on puisse les changer sans être obligé de re- s des boulons. Tous les pas de vis seront pris dans la série dont les nt fournis par la compagnie des chemins de fer, et dont les tarauds- is chez le fournisseur qu'elle désignera. Les boulons seront goupillés, tions qui seront données par les dessins, afin d'empêcher les écrous

action porteront un fort crochet à l'arrière duquel sera pratiqué un r recevoir le tendeur d'attelage à vis. La ligne de traction sera déter- cé qui la placera exactement dans l'axe du châssis.

sûreté terminées par des crochets en fer forgé seront fixées à chaque

extrémité du châssis ; les tiges qui doivent les porter relieront les traverses intermédiaires et celles extrêmes.

Toutes les ferrures, travaillées avec soin et précision, seront faites en fer au bois de première qualité ou en fer corroyé dont la qualité aura été constatée et approuvée par les ingénieurs de la compagnie des chemins de fer. Aucune pièce ne pourra être appliquée en brûlant. Les pièces en fonte seront de seconde fusion et de première qualité, douce à la lime et exempte de soufflures et autres défauts ; l'ajustement et l'assemblage se feront avec soin et précision. A la construction, toutes les pièces en fer et fonte devront recevoir, sur toutes leurs faces, une bonne couche de peinture au minium. Enfin tous les matériaux employés seront de la meilleure qualité, et l'exécution du travail devra être soignée sous tous les rapports. La compagnie des chemins de fer pourra procéder à toutes les épreuves qui lui paraîtraient nécessaires, dans les ateliers des constructeurs, dont l'entrée sera toujours accordée à ses agents chargés de suivre la fabrication desdits châssis.

La peinture sera faite avec le plus grand soin, la composition des couleurs sera donnée par l'ingénieur en chef de la compagnie, et il sera fourni un panneau d'échantillon pour déterminer la teinte. Dans la construction des wagons est comprise la peinture des trains et de toutes les ferrures, qui sera faite au noir d'ivoire poli par les brancards du châssis et parties apparentes. Le dessous de la caisse sera peint d'une couche de gris à l'huile, puis d'une couche de noir de fumée à l'huile.

La livraison des wagons aura lieu sur les points et aux époques stipulés dans le traité. Les époques de livraison sont de rigueur ; tout délai donnera lieu à des dommages-intérêts stipulés au traité. Les wagons seront livrés montés sur leurs châssis garnis de roues et essieux, le tout peint et prêt à fonctionner. Les frais de transport et autres, s'il y en a, jusqu'à la livraison, sont à la charge du fournisseur. Au moment de la première livraison, le fournisseur devra remettre à la compagnie des chemins de fer un tableau du poids total et celui des différentes parties d'un wagon.

La compagnie se réserve le droit de faire suivre la construction par ses ingénieurs. Les wagons en blanc seront reçus provisoirement avant d'être montés et recevront alors leurs numéros d'ordre. La réception provisoire aura lieu à la livraison du wagon ; néanmoins, toute pièce qui, pendant l'espace de quatre mois à partir de sa mise en service régulier, viendrait à manquer ou à se fausser par suite d'un défaut de fabrication, d'un mauvais choix de matière première, ou d'un vice de construction, devra être remplacée par le fournisseur, ou, à ses frais, par la compagnie des chemins de fer. Si la casse avait lieu par suite d'un choc violent ou d'un accident analogue, il n'y aura pas lieu à en réclamer la réparation au fournisseur, à moins toutefois que le choc ou l'accident qui aurait occasionné le dégât ne provînt de quelque imperfection des caisses ou châssis qu'il aurait fournis. La réception définitive ne sera faite qu'après un parcours effectif de 4000 kilomètres en service ordinaire, lequel devra être fait dans le délai de quatre mois, sauf le cas de grandes réparations nécessitées par des vices de construction.

RÉSISTANCES AU MOUVEMENT DES WAGONS.

484. *Résistance due au frottement des essieux.* La résistance que le frottement oppose directement à la marche d'un wagon est exprimée par

$$R_1 = fP\,\frac{d}{D}. \qquad (95)$$

R_1 résistance que le frottement des essieux oppose directement à la traction qui sollicite le wagon ;

pression des fusées sur les boîtes;
.05 coefficient du frottement des essieux dans leurs boîtes, le graissage se faisant très-bien et d'une manière continue (63);
diamètre des fusées des essieux;
diamètre des roues;
rapport $\frac{d}{D}$ était de 1/20 pour les anciens wagons; aujourd'hui, il est généralement de 1/14 environ pour les wagons de service et les voitures pour voyageurs (481).

5. *Résistance due au frottement qui s'exerce au pourtour des* s. Cette résistance étant représentée par R_2, on a

$$R_2 = f'(P + p). \tag{492}$$

poids qui repose sur les roues;
poids des roues et essieux;
p) poids total du wagon (480);
).001 environ coefficient du frottement de roulement des roues de 0m,90 de diamètre sur les rails (60 et 493).

6. *Résistance que l'air oppose au mouvement des wagons.* Des expériences faites à Brest par M. Thibault, lieutenant de vaisseau, il lte que la résistance de l'air contre la base d'un prisme droit à carrée, dont les arêtes latérales sont placées dans la direction du vement, est exprimée par

$$R_3 = \theta \varepsilon A V^2. \tag{a}$$

résistance que l'air oppose au mouvement du prisme, en kilogrammes;
).0625 coefficient constant;
coefficient qui dépend du rapport de la longueur du prisme au côté de sa base :
Si la longueur du prisme est égale à trois fois le côté de la base. $\varepsilon = 1.10$
Si elle lui est égale, c'est-à-dire si le solide est un cube. . . . $\varepsilon = 1.17$
Si elle est beaucoup plus petite (plaque mince). . . . . $\varepsilon = 1.43$
base du prisme en mètres carrés;
vitesse du prisme par rapport à l'air, en mètres par seconde.

s expériences de M. Thibault il résulte aussi qu'en plaçant deux aces carrées, se masquant exactement, l'une derrière l'autre, la stance de l'air contre la seconde surface est nulle quand celle-ci t séparée de la première que d'un très-petit espace, et qu'elle est $\frac{7}{10}$ de celle contre la première quand l'écartement est égal au de la surface. Si la seconde surface avait une section plus grande la première, on pourrait calculer la résistance de l'air en remarnt qu'une partie de cette surface est frappée directement par l'air, ue l'autre portion est masquée par la première comme dans le précédent.

s expériences de M. Thibault il résulte encore que pour une surf, faisant un angle α avec la direction du mouvement, la résis-

tance de l'air est égale à celle qui aurait lieu contre la projection $A \sin \alpha$ de la surface A sur un plan perpendiculaire à la direction du mouvement.

M. de Pambour, en appliquant les résultats de M. Thibault et ceux obtenus antérieurement par Dubuat à la résistance que l'air oppose au mouvement des convois sur les chemins de fer, est arrivé aux résultats suivants :

Surface qu'un wagon présente au choc de l'air (495), *elle se compose :*

	Pieds car.
1° De la surface du chargement, qui est très-variable.	»
2° De la surface de projection du wagon proprement dit, surface qui est ordinairement, pour un wagon à simple plate-forme et pour une largeur de voie de 4 pieds 8 pouces 1/2 anglais.	1,4[illegible]
3° De la surface due à la résistance que les rais des roues éprouvent à se mouvoir. M. de Pambour, en remarquant que tous les points des rais n'ont pas la même vitesse, estime cette surface à 1,25 pied carré pour une roue ordinaire de 3 pieds de diamètre ; ce qui fait, pour les deux roues de devant, 2,50 pieds carrés, et comme chaque rais masque le suivant, il réduit la surface précédente d'un tiers, ce qui donne	1,[illegible]
4° De la surface due à ce que les roues, les essieux, les ressorts et les boites à graisse de derrière ne sont pas masqués complétement par les mêmes pièces de devant. M. de Pambour estime la surface de ces pièces, y compris celle de 2,50 pieds due au mouvement des rais, à 7,03 pieds carrés, et en la réduisant d'un tiers, pour tenir compte de ce que ces pièces sont en partie préservées par les pièces semblables de devant, il obtient.	4,[illegible]
La surface totale des plus hauts wagons, y compris celle de la charge, est estimée, pour les voies de 5 pieds ($1^{m},524$) environ de largeur, à . .	70 ou 7[illegible]
Pour les diligences, cette surface totale est de	60 à 6[illegible]

Ainsi, pour un wagon offrant une surface directe de 70 pieds carrés $= 6{,}503$ mètres carrés à l'action de l'air, la formule (α) devient, en remarquant que pour un wagon chargé, la longueur étant moyennement égale à une fois et demie la racine carrée de la surface antérieure, il convient de faire $\varepsilon = 1{,}15$,

$$R_{3} = 0{,}0625 \times 1{,}15 \times 6{,}503 V^{2}.$$

Pour un convoi de plusieurs wagons, il faut, d'après ce qui précède, compter, pour la surface directe opposée à l'air, 70 pieds carrés pour le premier wagon, plus $4{,}69 \times 2 = 9{,}38$ pieds carrés pour les pièces de charronnage de chacun des wagons suivants. De plus, les wagons étant séparés entre eux de 2 pieds environ, l'air exerce encore une certaine résistance sur la face antérieure de chacun des wagons qui suivent le premier. M. de Pambour, de concert avec M. [illegible] Wood, ingénieur du chemin de fer de Liverpool à Manchester, pour déterminer cette résistance, a opéré sur 5 wagons qu'il a fait de[illegible]

tre sur un plan incliné, d'abord séparément et ensuite réunis en
voi, et il a trouvé cette résistance égale à celle due à 3 pieds
és de surface directe, ce qui fait par wagon intermédiaire 3/4 =
pied carré. Cette surface, ajoutée à celle due aux pièces de char-
age, donne 10,13 pieds carrés, soit 10 pieds carrés de surface di-
par wagon, non compris le premier. Dans ces expériences, la
ueur du prisme formé par les 5 wagons réunis étant égale à sept
la largeur, M. de Pambour, pour déterminer la résistance due à
a pris, conformément aux observations de Dubuat, $\varepsilon = 1,07$;
les wagons séparés, il a fait $\varepsilon = 1,15$.

près ce qui précède, pour un convoi de wagons, il faudra donc
dre pour surface directe opposée à l'air, d'abord 70 pieds carrés
le premier wagon et ensuite 10 pieds carrés pris autant de fois
y a de wagons placés à la suite du premier; dans le nombre des
ns on comprend la locomotive et son tender. Pour un convoi de
nces, il suffirait de remplacer 70 pieds carrés par 60 dans l'éva-
on précédente. La surface ainsi déterminée et transformée en mè-
carrés étant substituée dans la formule (a), on en conclura la
tance due à l'air en faisant ε égal à 1,15 pour un wagon, à 1,07
5 wagons, à 1,05 pour 15 et à 1,04 pour 25.

de Pambour estime que si les roues, au lieu d'avoir, comme elles
rdinairement, 3 pieds de diamètre, en avaient 5, il faudrait aug-
er la surface directe opposée à l'air de 3 pieds carrés par wagon.

plication. Soit à déterminer la résistance due à l'air, pour un
oi composé de 15 wagons, la surface directe opposée à l'air par
s grand wagon étant de 70 pieds carrés (6,503 mètres carrés), la
ce directe due à chacun des autres wagons étant de 10 pieds
s (0,929 mètre carré), et la vitesse étant de 40 kilom. à l'heure,
ui fait 11m,11 par seconde.

mplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule (a), on a

$$=0,0625 \times 1,05(6,503 + 0,929 \times 14)11,11 \times 11,11 = 158 \text{ kilog.}$$

7. *Résistance totale à la traction sur un chemin horizontal et en droite.* Représentant cette résistance par R, on a, d'après les nu-
s précédents (484 à 486),

$$R = fP\frac{d}{D} + f'(P+p) + 0\varepsilon AV^2.$$

3. *Résistance totale à la traction sur un chemin en pente et en droite.* Cette résistance est (75, 484, 485 et 486).

$$fP\cos\alpha \times \frac{d}{D} + f'(P+p)\cos\alpha + 0\varepsilon AV^2 \pm (P+p)\sin\alpha.$$

angle que fait le plan incliné avec l'horizon;

$P \cos \alpha$ composante du poids P, normale au plan incliné ; c'est la pression des fusées sur leurs boîtes ;

$(P+p) \cos \alpha$ composante du poids total des wagons, normale au plan incliné ; c'est la pression des roues sur les rails ;

$(P+p) \sin \alpha$ composante du poids du convoi, parallèle au plan incliné ; elle est positive ou négative suivant que le convoi monte ou descend.

Pour les cas ordinaires des chemins de fer, on peut, sans erreur sensible, supposer $\cos \alpha = 1$, et alors l'expression de la résistance à la traction, sur un chemin en pente et en ligne droite, devient

$$fP\frac{d}{D} + f'(P+p) + 0{,}1AV^2 \pm (P+p)\sin \alpha.$$

Il suffit que la pente du chemin soit de $\frac{1}{200}$ environ pour que le convoi descende seul, et lorsqu'elle atteint $\frac{1}{50}$, un convoi chargé descendant peut faire remonter un même convoi vide.

Ordinairement la pente ne dépasse pas $0^m,005$ par mètre ; mais sur quelques chemins, on l'a portée à $0^m,008$ ou à $0^m,010$ et même plus (460), ce qui oblige d'avoir recours à des locomotives de renfort. Sur le chemin de Strasbourg, pour une pente de $0^m,008$ sur 10250 mètres et une même contre-pente sur 9840 mèt., deux machines sont toujours allumées pour remorquer les convois trop chargés, et il en résulte annuellement un surcroît de dépense de 140 000 fr. pour l'usage des machines, plus 20 000 fr. pour l'entretien, la police et le renouvellement des voies.

489. *Résistances dues aux courbes.* Outre les résistances précédentes (487 et 488), la courbure de la voie donne naissance à trois frottements de glissement.

Le premier de ces frottements est dû à la fixité des roues sur l'essieu. Une des roues glisse sur les rails sur une distance égale à la différence de longueur des deux courbes qui composent la voie. Le travail absorbé par ce frottement est, pour l'unité de poids et en remplaçant la différence de longueur des courbes par sa valeur en fonction de a, r et e,

$$f''\frac{2a}{r}e.$$

a demi-largeur de la voie ou demi-longueur de l'essieu ; on a ordinairement $a = 0^m,75$ (n° 448) ;

r rayon de l'arc suivi par le centre de gravité du wagon ;

e longueur de l'arc parcouru par le centre de gravité du wagon ;

f'' coefficient de frottement de fer sur fer à l'état où se trouvent les jantes des roues et les rails ; on peut le faire égal à 0,14, 0,20 ou 0,30 selon que les rails sont humides, ou à l'état moyen, ou très-secs (496).

Divisant le travail précédent par l'espace parcouru, on a la résistance due au frottement précédent, qui est alors

$$f''\frac{2a}{r}.$$

Pour un wagon, cette résistance devient, en remarquant que la noitié du poids total P+p du wagon repose sur les roues qui glissent,

$$f''(P+p)\frac{a}{r}.$$

Le deuxième frottement provient de ce que le parallélisme des essieux oblige le wagon de glisser sur les rails en tournant autour de son entre de gravité pour changer de direction. Ce frottement et le précédent combinés absorbent, pour tout le parcours de l'arc et pour haque unité de poids du wagon, un travail représenté par

$$f''\sqrt{a^2+b^2}\times\frac{e}{r}.$$

Pour un wagon ce travail est

$$f''(P+p)\sqrt{a^2+b^2}\times\frac{e}{r}. \quad (1)$$

Divisant par e, on a la résistance qui s'oppose directement au mouvement du wagon, qui est alors

$$f''(P+p)\sqrt{a^2+b^2}\times\frac{1}{r}. \quad (2)$$

demi-distance des essieux (452 et 481).

L'expression (1) fait voir que le travail absorbé par le glissement dû à la fixité des roues et au parallélisme des essieux dépend de la longueur des essieux et de leur écartement, et qu'il est proportionnel à $\frac{e}{r}$, c'est-à-dire au supplément de l'angle que font entre elles les deux parties de chemin raccordées, mais qu'il est indépendant de r pour une même valeur de l'angle $\frac{e}{r}$. L'expression (2) montre que la résistance à la traction dépend également de a et de b, mais qu'elle est en raison inverse de r. Ainsi pour tourner d'un certain angle, le travail absorbé par le frottement en question est indépendant de r, mais la résistance est en raison inverse de r. Cette dernière cause, à part les accidents que peut occasionner un trop petit rayon adopté pour les courbes, est ce qui fait que sur les chemins à grande vitesse la valeur de r est généralement supérieure à 1000 mètres (460).

Le troisième frottement est dû à la force centrifuge, qui fait frotter les rebords des roues contre les rails.

Théoriquement, la force centrifuge étant moindre que la résistance due au frottement des wagons sur les rails, même pour les vitesses en usage et pour un rayon de 500 mètres, qui est à peu près le plus petit

employé dans la construction des chemins de fer, le rebord des roues ne devrait pas frotter contre les rails. C'est en effet ce qui aurait lieu si les wagons ne sautillaient pas en marchant; mais comme cet effet se produit toujours, il en résulte un frottement qui est exprimé, pour un wagon, par

$$f''' \frac{P+p}{g} \times \frac{V^2}{r} \frac{2c}{D}. \qquad (121 \text{ et } 191$$

V vitesse du centre de gravité du wagon, en mètres par seconde;
D diamètre de la roue, pris à l'intérieur du rebord;
c distance horizontale de la verticale passant par le centre de gravité de la roue au point où la partie frottante du rebord de la roue commence à toucher la face latérale du rail;
f''' coefficient du frottement du rebord de la roue contre le rail (490).

490. *Résistance totale qui s'oppose au mouvement d'un wagon sur une courbe en pente.* Cette résistance est égale à la somme de toutes les résistances précédentes (484 à 489); elle est donc

$$R = fP\frac{d}{D} + f'(P+p) + 0\varepsilon AV^2 + f''(P+p)\sqrt{a^2+b^2}\frac{1}{r} + f'''\frac{(P+p)}{g}\times\frac{V^2}{r}\frac{2c}{D} \pm P+p$$

f = 0,05 (484);
$\frac{d}{D}$ = de 1/12 à 1/20, c'est ordinairement 1/14 (n° 484);
f' = 0,004 (n° 485);
θ et ε (n° 486);
f'' = 0,20 moyennement (489 et 496);
$(P + p)$ (n° 480);
Pour $a = b = 0^m,75$, on a $\sqrt{a^2+b^2} = \sqrt{1,12} = 1$ à peu près (489);
f''' n'a pas encore été déterminé par des expériences assez concluantes pour lui assigner une valeur exacte (489 et 491).

491. *Résultats des expériences faites sur le chemin de Roanne à Andrezieux pour déterminer le frottement dû à la force centrifuge* (489

Vitesse du wagon, 4 lieues à l'heure.

Rayon de la courbe, 100 mètres;

Traction au dynamomètre, 0,033 (P+p);

Soit x le frottement dû à la force centrifuge.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule du n° 490, elle donne, en faisant la résistance due au frottement des essieux et au pourtour des roues égale à 0,005 (P+p), comme cela a lieu ordinairement sur les chemins de fer (484 et 485), et en négligeant la résistance de l'air, qui n'est, à la vitesse de 4 mètres par seconde, quand il n'y a qu'un wagon, que de $1^k,15$ par mètre carré de la surface opposée directement à l'air (486),

$$0,033(P+p) = 0,005(P+p) + \frac{0,3\sqrt{1,12}}{100}(P+p) + x,.$$

e

$$x = 0{,}02482(P+p),$$

gale à trois fois celle due aux autres frottements.
ndrait de reprendre ces expériences en se plaçant mieux
nditions habituelles des chemins de fer.
iens pour déterminer le frottement total d'un wagon.
r moyen consiste à faire descendre librement un wagon
incliné et à constater l'espace parcouru pendant un cer-
(488).
est soumis à l'action de deux forces : l'une, accéléra-
l'action de la pesanteur, et qui est $(P+p)\sin\alpha$, composante
wagon parallèle au plan incliné (75) ; l'autre, retardatrice,
ottement du wagon. Sous l'influence de ces forces, le wa-
ın mouvement accéléré (11 et suivants), et après un cer-
on a, en remarquant que dans ce cas l'accélération de la
à l'accélération g due à la pesanteur dans le rapport de
$-x$ à $P+p$.

$$E = \frac{1}{2}\,g\,\frac{(P+p)\sin\alpha - x}{P+p}\,T^2,$$

$$x = (P+p)\sin\alpha - \frac{2E}{gT^2}\,(P+p).$$

eur de x serait exacte si tout le système n'était doué que
mouvement de translation ; mais les roues et les essieux
outre le mouvement de translation, un mouvement de ro-
résulte que la masse effective soumise au mouvement de
se compose de celle dont le poids est $P+p$, plus d'une
uelle, appliquée à la circonférence de la roue et ayant par
la vitesse de translation, aurait, par rapport à l'axe des
même moment d'inertie que les roues et essieux. Si les
nt des cylindres pleins de matière homogène, c'est-à-dire si
remplaçaient exactement les vides laissés entre les rais, on
riquement cette masse fictive (101 et suivants). Des expé-
ectes de M. N. Wood, sur des essieux garnis seulement de
, ont donné 0,54 pour le rapport de cette masse fictive à la
roues et des essieux. La masse effective mise en mouve-
a force motrice $(P+p)\sin\alpha - x$, au lieu d'être $\frac{P+p}{g}$, étant
$\frac{p}{}$, l'accélération réelle de vitesse est dans le rapport in-
s masses, et devient (21) $g\,\frac{(P+p)\sin\alpha - x}{P+p} \times \frac{P+p}{P+1{,}54p}$; on
simplifiant,

$$E = \frac{1}{2} g \frac{(P+p)\sin\alpha - x}{P+1,54p} T^2 ; \qquad (a)$$

d'où l'on tire

$$x = (P+p)\sin\alpha - \frac{2E}{gT^2}(P+1,54p).$$

E espace parcouru pendant le temps T qu'a duré l'observation ;
P poids du wagon et de sa charge ;
p poids des roues et des essieux. On a à peu près $p = 850$ kilog. pour un wagon ordinaire (481);
α angle que fait le plan incliné avec l'horizon ;
x résistance totale qui s'oppose au mouvement du wagon.

La résistance de l'air étant comprise dans la valeur de x, et cette résistance est variable avec la vitesse (486), il en résulte que le mouvement n'est pas exactement uniformément accéléré, et que la formule précédente ne donne qu'une approximation.

Sur un plan incliné au centième, les wagons ordinaires prenant un mouvement uniforme après quelques tours de roues, il en résulte que sur un tel plan la composante $(P+p)\sin\alpha$ est égale à x, et comme l'on peut calculer facilement la valeur de la résistance de l'air, puisque le mouvement est uniforme, en retranchant cette valeur de $(P+p)\sin\alpha$, on aura la somme de toutes les autres résistances qui s'opposent au mouvement du wagon.

Le deuxième moyen pour déterminer le frottement total d'un wagon consiste à faire marcher librement ce wagon sur deux plans inclinés en sens inverse et se raccordant par une courbe à leur partie inférieure.

Si toutes les résistances qui s'opposent au mouvement du wagon étaient nulles, le wagon, après avoir librement descendu d'une certaine hauteur verticale sur une rampe, remonterait à la même hauteur sur l'autre. Soient :

H la descente verticale du wagon sur l'un des plans, et α l'angle d'inclinaison de ce plan ;
h la montée verticale du wagon sur l'autre plan, et α' l'angle d'inclinaison de ce plan ;
E l'espace parcouru sur le premier plan ;
e l'espace parcouru sur le second plan, quand le wagon cesse de monter ;
$(P+p)$ le poids total du wagon et de ses roues,
x la résistance totale qui s'oppose au mouvement du wagon.

L'accélération de vitesse sur le premier plan est, en supposant uniforme la résistance de l'air et en remarquant que la force $(P+p)\sin\alpha - x$ sollicite, comme dans le cas précédent, une masse effective $\frac{P+1,54p}{g}$

$$g \frac{(P+p)\sin\alpha - x}{P+1,54p},$$

vitesse que possède le wagon quand il arrive au bas de ce plan
(9)

$$v=\sqrt{2g\frac{(P+p)\sin\alpha-x}{P+1,54p}E}.$$

r le second plan, l'accélération de vitesse retardatrice est, en re-
quant que la force $(P+p)\sin\alpha'+x$ sollicite la même masse effec-
$\frac{P+1,54p}{g}$, mais en sens contraire de mouvement,

$$g\frac{(P+p)\sin\alpha'+x}{P+1,54p},$$

uand le wagon a parcouru l'espace e, la perte de vitesse est

$$v'=\sqrt{2g\frac{(P+p)\sin\alpha'+x}{P+1,54p}e}.$$

omme le wagon cesse de monter, on doit avoir $v=v'$, c'est-à-dire

$$\sqrt{2g\frac{(P+p)\sin\alpha-x}{P+1,54p}E}=\sqrt{2g\frac{(P+p)\sin\alpha'+x}{P+1,54p}e};$$

l'on tire, en remarquant que $E\sin\alpha=H$ et $e\sin\alpha'=h$,

$$x=\frac{(P+p)(H-h)}{E+e}.$$

. N. Wood a trouvé, par expérience, que la vitesse ne dépassant
4 lieues à l'heure, la valeur de x, résistance de l'air comprise, va-
t entre $\frac{1}{250}$ et $\frac{1}{200}$ (de 0,004 à 0,005) de $P+p$ pour un rapport $\frac{d}{D}$
diamètre de la fusée à celui de la roue compris entre 1/15 et 1/13.
de Pambour est arrivé à peu près aux mêmes résultats; il a
uvé que la valeur de x était, déduction faite de la résistance de
r, de $2^k,69$ par tonneau brut, c'est-à-dire de 0,0027 $(P+p)$, pour
roues de $0^m,915$ de diamètre avec fusées de $0^m,045$, ou, pour un
port $\frac{d}{D}=\frac{1}{20}$, les boîtes étant garnies de coussinets en bronze et
issées d'une manière continue.

In *troisième moyen* consiste dans l'emploi du dynamomètre.
. Gouin et Le Chatelier, en faisant usage du dynamomètre de
Morin, ont trouvé, pour des wagons se rapprochant beaucoup des
gons actuels, si ce n'est que les fusées étaient d'un diamètre plus
it, que l'on avait :

=0.003 $(P+p)$ à $x=0.0045\,(P+p)$ pour des vitesses de 25 à 40 kilom. à l'heure.
=0.0045 $(P+p)$ à $x=0.0085\,(P+p)$ *id.* 40 à 60 *id.*

Et l'on peut supposer que l'on a
=0.012 $(P+p)$ à $x=0,045$ $(P+p)$ pour des vitesses de 80 à 90 kilom. à l'heure.

493. *Expériences de* M. N. Wood. Cet expérimentateur, en enleva les caisses des wagons, a supprimé le frottement des essieux da leurs boîtes et en grande partie la résistance de l'air, et il a trouv en lançant ces essieux, plus ou moins chargés, sur des plans incl nés, que la résistance au pourtour des roues était à peu près 0,0 du poids total (485).

M. Wood a encore déterminé directement le frottement des essie dans leurs boîtes en les faisant tourner après les avoir chargés. Il reconnu que la charge de l'essieu ne devait pas dépasser $6^k,33$ p centimètre carré de sa surface de contact avec ses boîtes; au-dessu de cette limite, la graisse est chassée et les surfaces frottantes s'ex tament. Le graissage continu mis en usage permet de dépasser d beaucoup cette pression (480 et 481). Il a aussi reconnu que la boî étant en très-bon état et la graisse bien préparée et bien distribué le frottement n'était que le $\frac{1}{60}$ de la charge, au lieu du $\frac{1}{8}$ qu'a don Coulomb (63); dans la pratique on admet qu'il est $\frac{1}{20}$ (484).

494. *TABLEAU des résistances totales au mouvement, obtenues par M. Lardn en lançant des wagons sur des plans diversement inclinés.* Ces résistances sont ég à $(P+p)\sin\alpha$, quand la vitesse des wagons est devenue uniforme (488 et 492).

DÉSIGNATION DES VENTS.	PENTE.	RÉSISTANCE	VITESSE uniforme en kilomètres par heure.
Calme parfait	1/250	1/250 $(P+p)$	30
Id.	1/89	1/89 $(P+p)$	54
Vent arrière	1/96	1/96 $(P+p)$	54
Id.	1/265	1/265 $(P+p)$	30
Id.	1/167	1/167 $(P+p)$	38
Vent de bout	1/96	1/96 $(P+p)$	45
Vent de côté	1/177	1/177 $(P+p)$	27

Le vent de côté est le plus défavorable. Il est à regretter que l'on n'ait pas constaté la vitesse du vent.

495. *Résistance totale que les convois opposent au mouvement.* Dans ces derniers temps, on a fait sur plusieurs chemins de fer français et anglais, avec le dynamomètre et des diagrammes relevés à l'aide de l'indicateur de Watt, des expériences dans le but de constater la résistance que les convois opposent au mouvement.

Des résultats obtenus, les auteurs du *Guide du Mécanicien* concluent que pour un convoi brut de 60 tonnes (26 pour la machine avec son tender et 34 pour les wagons), marchant à la vitesse de

lomètres à l'heure, on peut diviser la résistance de la manière
ınte :

istance du convoi brut :	*Pour le convoi.*	*Par tonne.*
Id. due au mouvement des véhicules.	375k	6k,25
Id. due aux frottements du mécanisme sans charge.	150	2 ,50
Id. due à l'augmentation des frottements du mécanisme produite par la pression de la vapeur.	105	1 ,75
Totaux.	630	10 ,50

istance de la machine avec son tender :	*Pour 26 tonnes.*	*Par tonne.*
'd. due au mouvement comme véhicules.	162k,50	6k,25
'd. due aux frottements du mécanisme sans charge.	149 ,50	5 ,75
'd. due à la pression de la vapeur.	104 ,00	4 ,00
Totaux.	416 ,00	16 ,00

f l'erreur due aux approximations adoptées en passant des nom-
?,50 et 1,75 à ceux 5,75 et 4,00, en ajoutant à la résistance
'0 du moteur, la résistance $6{,}25 \times 34 = 212^k{,}5$ des wagons, on
e la première résistance totale 630k,00 du convoi.
expériences faites avec le dynamomètre de M. Morin, par M. J.
e, sur le chemin de fer de Paris à Lyon d'abord, de Paris à Me-
ıuis de Melun à Paris, afin que la moyenne représentât le tirage
iveau, il résulte que pour remorquer une machine mixte de la
de Lyon et son tender, chargés d'eau et de coke, il faut compter
ne traction de 11 kilog. par tonne, la vitesse étant de 45 à 50 ki-
tres à l'heure.
Wyndham Harding, en discutant les différents résultats obtenus
la résistance des convois sur un chemin horizontal, a posé la
ule empirique suivante, qui peut, dans les cas ordinaires, ser-
le point de départ pour calculer les dimensions des machines
ıotives (506). Elle donne des résultats un peu forts pour les fai-
ritesses, mais très-convenables pour des vitesses de 60 à 100 ki-
à l'heure ; les trains pesant de 20 à 100 tonnes.

$$R = 2{,}72P + 0{,}094vP + 0{,}00484Av^2.$$

ısistance en kilogrammes;
itesse du convoi en kilomètres par heure;
ırface de front du train ou sa plus grande section, en mètres carrés; en général, on peut faire $A = 5$;
oids brut du convoi en tonnes;

.e premier terme 2,72P est dû au coefficient du frottement des véhicules;
.e second, qui est proportionnel à la vitesse, exprime la résistance qui est due aux chocs et vibrations résultant du passage sur les joints des rails et aux mouvements irréguliers du train ;
.e troisième, qui est proportionnel au carré de la vitesse, est dû à la résistance de l'air (486).

Sur un chemin en pente, on ajouterait 1000Pi
étant la pente par mètre mesuré sur le chemin mê

Cette formule s'applique à tout le convoi (mach
gons) aussi bien qu'aux wagons seuls; mais alo
compte de la résistance due aux frottements du
machine, et il faut, pour avoir la résistance tota
de 25 ou 20 pour 100, selon qu'il s'agit d'un conv
d'un convoi de marchandises.

En divisant par P la valeur de R ou celle de T,
tance par tonne du poids brut.

496. *Résistance que le frottement de glissement*
oppose au mouvement du convoi quand les freins s
d'empêcher les roues de tourner. Des expériences
mètre sur le chemin de fer de Lyon, par M. Jules P

1° Que pour de petites vitesses cette résistance
à 0,25 du poids du wagon, selon que les rails sont

2° Que cette résistance diminue avec la vitesse :
le frottement des roues sur les rails doit diminuer
ment la résistance de l'air, que l'on avait, du re
près négligeable par une disposition particulière,
vitesse (59 et 486). Dans les limites de poids et de v
diminution de résistance résultant de l'augmenta
est à peu près indépendante du poids des wago
rails; elle peut être représentée par $25V-0,35V^2$;

$$R=fP-25V+0,35V^2.$$

R résistance des wagons à freins, ou des surfaces frottantes,
P poids total du wagon ou pression entre les surfaces frotta
f coefficient de frottement que l'on peut faire égal à 0,13 po
à 0,30 pour les rails très-secs. Dans le calcul de la char
locomotive, on peut faire $f=0,17$ (n° 504);
V vitesse que la formule suppose comprise entre 5 et 22 m
vitesses sont évidemment supérieures à celles qui ont s
n° 59.

M. Bochet, ingénieur des mines, des résultats ol
rée et de ceux fournis par des expériences exéc
MM. Garella et Bochet, sur le chemin de fer de l'
formule

$$R=\frac{kP}{1+\alpha V}.$$

R, P et V ont la même signification que dans la formule précéde
k coefficient égal à 0,14, 0,20, 0,25 ou 0,30, selon que les
sez secs, bien secs ou à leur maximum possible de séche
α autre coefficient, égal à 0,03 quand les roues glissent dire
à 0,07 quand le wagon glisse sur les rails par l'interm
(Annales des mines, 1858).

petites valeurs de V, la formule précédente donne sensi-
= kP ; c'est ce qui explique l'égalité entre les valeurs de f''
celles de k. M. Bochet a remarqué encore que les résul-
par M. Morin, pour des vitesses ne dépassant pas 4 mè-
onde, variaient à peu près d'après sa formule ; ce qui fait
ue la diminution du frottement de glissement avec la vi-
fait général. Quoi qu'il en soit, cette diminution est assez
des vitesses qui ne dépassent pas 4 mètres pour qu'on
gliger.

s automoteurs. Sur ces plans, pour obtenir la résistance
ement de la corde et à sa roideur, et au frottement des
mbour, des petites poulies et des rouleaux qui supportent
a fait descendre librement un wagon chargé qui en faisait
n même vide, et on a tiré cette résistance de la formule
ablie de la même manière que celle (a) du n° 492 :

$$+ p + c)\sin\alpha - (\mathrm{P} + p)\sin\alpha - \frac{\mathrm{P} + p + c + \mathrm{P} + p}{240} - \mathrm{X} \over \mathrm{P} + p + c + \mathrm{P} + p + \omega + 0{,}54(2p + p') \; \mathrm{T}^2.$$

rmule, tout est connu à l'exception de X.
cherchée ;
rcouru pendant le temps T qu'a duré l'expérience ;
wagon descendant : on suppose qu'il est le même pour le wagon mon-

roues de chaque wagon ;
pièces qui tournent, autres que les roues de wagons ;
wagon descendant ;
t de la résistance à la traction des wagons sur le chemin de fer ;
a corde ;
oids des masses fictives, lesquelles appliquées à la circonférence des
qui tournent, roues, tambours, poulies et rouleaux, et ayant par consé-
la vitesse des wagons, auraient, par rapport aux axes de ces pièces, le
moment d'inertie que ces pièces elles-mêmes (492).

od, en opérant ainsi, a trouvé X = de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$ $(p' + \omega)$, cette
étant appliquée sur les tourillons des petites poulies, et
diamètre de ces tourillons est le $\frac{1}{12}$ de celui des poulies,
nce, appliquée au pourtour des poulies, est de $\frac{1}{36}$ $(p' + \omega)$.
périmentateurs ont trouvé $\frac{1}{22}$ et $\frac{1}{24}$ de $(p' + \omega)$; mais les
s ont été faites avec moins de soin ; du reste, il serait
nable de reprendre ces expériences et de tenir compte de
e de l'air, qu'on a négligée.

arge que peut traîner un cheval sur un chemin de fer. Sup-

posant que la résistance à la traction des wagons remorqués par de chevaux est $\frac{1}{200}$ de la charge brute (chargement et wagons) (492). La charge brute traînée par un cheval est donnée par la formule

$$\frac{X}{200} = 70 \text{ kilog.}, \quad \text{d'où} \quad X = 14000 \text{ kilog.}$$

X charge brute traînée ;
70^k traction moyenne d'un cheval travaillant 10 heures par jour et parcourant 3240 mètres par heure (36).

Sur une rampe, la charge que peut traîner un cheval est donnée par la formule

$$\frac{X}{200} \pm X \sin \alpha \pm Q \sin \alpha = 70 \text{ kilog.}$$

α angle que fait le plan incliné avec l'horizon ;
Q poids du cheval ;
$X \sin \alpha$ et $Q \sin \alpha$, composantes, parallèles au plan incliné, de la charge traînée et du poids du cheval ; elles sont positives ou négatives suivant qu'on monte ou qu'on descend (488).

499. *Machines fixes.* A l'origine des chemins de fer, on faisait usage de machines fixes pour remorquer les convois ; elles étaient espacées entre elles de 2000 mètres, et des cordes, auxquelles on fixait les convois, allaient de l'une à l'autre.

500. ***Tableau comparatif de la résistance sur différentes voies de communication.***

Routes ordinaires en bon état (41)			$\frac{1}{30}$	= 0,0[illegible]
Routes en bois			$\frac{1}{70}$	= 0,0[illegible]
Chemins de fer, vitesse de 8 lieues à l'heure			$\frac{1}{200}$	= 0,[illegible]
Id.	vitesse de 12 lieues à l'heure		$\frac{1}{400}$	= 0,0[illegible]
Canaux à grande section, bateaux ordinaires, très-faible vitesse			$\frac{1}{1000}$	= 0,00[illegible]
Id.	*id.*	vitesse double	$\frac{1}{250}$	= 0,00[illegible]
Id.	*id.*	vitesse quadruple	$\frac{1}{62}$	= 0,01[illegible]
Canaux à petite section, bateaux ordinaires, faible vitesse			$\frac{1}{600}$	= 0,00[illegible]
Id.	*id.*	vitesse double	$\frac{1}{150}$	= 0,00[illegible]
Id.	*id.*	vitesse quadruple	$\frac{1}{37}$	= 0,0[illegible]

x, on a supposé la résistance proportionnelle au carré
.

MACHINES LOCOMOTIVES.

ification des machines locomotives. D'après la nature de
les locomotives se divisent :
hines à voyageurs, affectées exclusivement au transport
s, et marchant avec une vitesse d'au moins 40 à 50 ki-
heure, en remorquant 14 ou 15 voitures sur un chemin
0m,005 par mètre. Sur certains chemins, des machines
rchent, dans les circonstances régulières du service, à
e 80 à 100 kilomètres, en remorquant 7 ou 8 voitures.
otrices sont indépendantes des autres roues, et leur dia-
arie de 1m,68 à 2m,10, et même 2m,20 à 2m,35 et au delà
hines Crampton, se proportionne à la vitesse de trans-
n veut obtenir. La course des pistons est faible relati-
iamètre des roues.
hines à marchandises, qui sont disposées pour remor-
fortes charges à des vitesses comprises entre 20 et 30 ki-
heure. Les roues motrices ont de 1m,20 à 1m,50, selon la
lles sont accouplées avec une ou deux autres paires de
me diamètre. La course des pistons est grande. Ces ma-
quent 40 wagons.
hines mixtes, lesquelles, faisant à la fois le service des
précédentes, marchent à des vitesses de 35 à 40 kilom.,
lement 50 kilom. Leurs roues motrices ont de 1m,50 à
nètre, et elles sont accouplées avec une autre paire de
achines remorquent, sur un chemin à rampes de 0m,005
voitures, tant à voyageurs qu'à marchandises. Lorsque
sse 0m,005, on est obligé d'avoir recours à ces locomo-
service des voyageurs, à cause de la plus grande adhé-
rails que donnent les roues accouplées.
truit encore des *machines-tender* qui portent elles-mêmes
eur coke. Elles conviennent pour les petits trajets. Si
ppliquées au service des voyageurs dans la banlieue
ville, les roues motrices sont indépendantes ; celles du
teuil sont à 4 roues accouplées ; quand elles sont utili-
r les trains dans les gares, ou comme machines de ren-
rampe, les 6 roues sont accouplées et d'un petit diamètre,
nte la course des pistons. En Angleterre, sur quelques
ents, on a construit des voitures à voyageurs qui por-
chine et qui marchent isolément.

Les locomotives se divisent aussi en machines à c
et en machines à cylindres extérieurs. Les premières
placés entre deux roues d'un même essieu, et par s
de la voie, elles offrent plus de stabilité et un mou
lier que les machines à cylindres extérieurs; ma
teur, qui est deux fois coudé, présente plus de di
tion et de chances de rupture qu'un essieu droit.
chines ayant leurs cylindres placés en dehors du b
à l'extérieur de la voie, la construction est simplif
est supprimé, et les principales pièces motrices so
mécanicien; mais quoique, par cette disposition
vité de la machine puisse être placé à 0m,12 ou 0m,1
tait possible d'appliquer un correctif simple à l'i
rapport, l'avantage serait en faveur des machine
rieurs.

M. Stephenson a construit une machine à trois
térieur, et deux extérieurs dont le travail total est
du premier.

M. Verpilleux, pour la remonte des wagons de ho
de Saint-Étienne, a imaginé de placer deux cyli
taires sur le tender pour utiliser l'adhérence de c
rails.

En Piémont, on a transformé la machine de M. V
machines-tender, à 4 roues chacune, accouplées d

Il y a des machines à *cylindres horizontaux*, et d
inclinés, dispositions motivées par des convenance

On peut encore classer les locomotives d'après le
Les premières locomotives étaient à 4 roues, comp
à feu et la boîte à fumée. La distance des essieux
ce qui permettait aux machines de circuler sur c
rayon. On a attribué au peu de stabilité de ces m
accidents, qui les ont fait abandonner pour employ
machines à 6 roues, qui donnaient la grande puis
clamée, sans fatiguer davantage les rails. Aujour
des rails a été augmenté et que la fabrication des
fectionnée, en même temps que l'expérience a cor
des dimensions plus fortes, on est revenu, dan
l'usage des machines à 4 roues.

En Amérique et dans quelques états d'Europe, l'a
est supporté par un train à 4 roues de petit diamè
d'une cheville ouvrière pour faciliter le passage d
petit rayon; lorsqu'elles sont destinées au trans
dises, on leur applique une seconde paire de roue
accouple avec celles qui reçoivent l'action du pis

iennent des machines à 8 roues. Dans quelques circonstances eptionnelles, on a ajouté une quatrième paire de roues aux maıes ordinaires à 6 roues, en maintenant le parallélisme des esıx.

nfin, dans le système Engerth, qui a pris naissance pour le nin du Sœmmering, dont la pente est considérable, il y a 10 ou oues (460).

ans la machine du Sœmmering, le tender est réuni invariableıt à la machine par le même châssis. La machine porte sur un n de 6 roues accouplées placées sous la chaudière, et le tender un train de 4 roues accouplées, dont les deux de devant se trout en avant du tender, qui s'étend jusque sous la chaudière. Ces deux ns sont indépendants l'un de l'autre dans le sens horizontal, afin ls puissent suivre des courbes de petits rayons; mais ils se comıdent par une roue dentée fixée au train de la machine, et qui rène avec d'autres roues dentées montées sur l'essieu d'arrière du n de la machine et sur celui d'avant du train du tender. Les cylin; sont extérieurs, et ils commandent l'essieu d'arrière du train de nachine.

ır le chemin du Midi, il y a des machines Engerth qui pèsent onnes, et qui peuvent remorquer des charges de 500 tonnes. Les 'es grandes lignes françaises possèdent également des machines de ystème. Dans celles des chemins de l'Est et du Nord, le train du ler est à 6 roues comme celui de la machine; l'essieu d'avant du ler est seul commandé par la roue d'engrenage intermédiaire; afin ıgmenter la vitesse, les 8 roues motrices ont 1m,28 de diamètre, au de 1m,16 qu'ont celles du Sœmmering; les 4 autres roues ont un nètre plus petit.

l existe aussi des machines mixtes du système Engerth sur le nin du Nord. Elles sont à 8 roues, dont 4 motrices et de 1m,74 liamètre; les roues du tender ont le diamètre ordinaire des roues enders, et ne sont pas accouplées. Le poids total de la machine de 36,5 tonnes, dont 11 tonnes environ sur chacun des essieux eurs. Les cylindres sont intérieurs avec un essieu coudé en acier lu.

nfin, on peut encore classer les locomotives d'après la position roues. Le besoin d'une grande puissance de vaporisation ayant abandonner les machines à 4 roues, on plaça un essieu à l'arrière oyer, en laissant les roues motrices au milieu. En augmentant i le nombre des points d'appui, on put augmenter les dimensions a chaudière, y placer 111 tubes au lieu de 82, et porter la surface hauffe de 22mq,5 à 52mq. En 1842, tout en conservant le même tement des essieux extrêmes, on remit le foyer en porte-à-faux; s la longueur des tubes devint 3m,80, et la surface de chauffe to-

tale 66mq; puis cette surface arrive successivement
95mq lorsque les plaques tournantes le permettent. En
ton, en portant l'essieu moteur à l'arrière du foye
les essieux extrêmes de 4m,86, a pu donner un trè
aux roues motrices, augmenter dans une proportio
surface de chauffe directe dans le foyer, porter à 1
tubes, et obtenir 102mq de surface de chauffe; depui
machines du type ordinaire, on a porté la surface d
Les essieux moteurs des machines Crampton étant
machines ne peuvent remorquer que de faibles cha
grandes roues motrices et leur puissance extraordin
tion les rendent très-convenables pour marcher à gr
cylindres sont fixés à l'extérieur, contre la chaudiè
chines Engerth, le nombre des tubes atteint 235
5 mètres; ce qui a permis d'obtenir de 180 à 200
chauffe.

802. *Pression de la vapeur dans la chaudière, dan*
derrière les pistons. Dans les anciennes machines,
solue de la vapeur dans la chaudière était généralem
sphères; mais dans les nouvelles, on l'a portée suc
6, 7 et 8 atmosphères, et quelques ingénieurs ar
même disposés à aller au delà.

MM. Gouin et Le Chatelier ont reconnu, en 1844, à
chine à détente fixe, qu'à la vitesse de 45 kilom. à l'h
du régulateur ayant varié de 15cq à 91cq, la pression
tiroirs a varié de 0,64 à 0,96 de celle de la chaudière
aussi que la tension dans la boîte des tiroirs ne croiss
ment en donnant au régulateur une ouverture supe
ont en outre constaté que la perte de tension que su
en passant par les lumières du tiroir et les conduits
cylindres était de 9 à 10 pour 100; de sorte que le régul
plétement ouvert, la tension est à peu près de 15
élevée dans les cylindres que dans la chaudière. Po
placée dans de bonnes conditions, il y a lieu de pr
pour cette différence.

La plus faible pression observée lorsque le régulat
ouvert, s'est élevée à 0,36 de la pression dans la cha

Quelques expériences spéciales ont permis de con
gulateur étant ouvert à la section moyenne de 50cq,
l'eau dans la chaudière étant très-élevé, sans qu'il
projection d'eau dans la cheminée, la tension dans
baissait à 0,75 de celle de la chaudière, et que quand
mait abondamment, elle s'abaissait à 0,62.

Pour les anciennes machines vaporisant 1mc,7 d'ea

ıjectait dans la cheminée la vapeur sortant du cylindre
15 de diamètre, ce qui fait 25,64 centimètres carrés de
; pour une autre puissance de vaporisation, cette section
ıs le même rapport. Avec ces proportions, il résulte des
déjà bien reculées, de M. de Pambour, que la pression
iston, en kilogrammes sur un centimètre carré, est re-
r

$$0{,}007\,662v. \qquad (505, \text{p. } 697)$$

e la machine en kilomètres par heure.

sion est la force élastique absolue de la vapeur diminuée
phère.

ine à marchandises, système Polonceau (509), détente par
henson à 0m,23 de la course du piston, a donné à M. Ber-
ne vitesse de 25,2 kilom., les résultats suivants, qui sont
kilogrammes par centimètre carré :

absolue dans la chaudière.	5k,98
. dans la boîte des tiroirs.	5 ,23
. dans le cylindre pendant l'admission.	3 ,37
. moyenne sur le piston..	2 ,36
moyenne derrière le piston	1 ,59
effective moyenne sur le piston.	0 ,77

elques essais de MM. Gouin et Le Chatelier, la pression
a vapeur derrière le piston étant de 0m,76 de mercure,
du tiroir elle n'était plus que de 0m,15, et de 0m,07 à
ce de la tuyère.

nce et recouvrement. Détente. Pour que la vapeur qui
lindre commence à s'échapper, et que la vapeur soit ad-
ıce opposée du piston, un peu avant que ce piston arrive
course, on donne une certaine avance au tiroir en ca-
blement l'excentrique, et comme l'avance à l'admission
-faible et celle à l'échappement considérable, on réduit
en élargissant intérieurement les bords du tiroir, c'est-
r donnant un certain recouvrement sur les lumières.

u tiroir fait agir la vapeur par détente pendant une por-
urse du piston, portion que l'on augmente en donnant
ment extérieur au tiroir.

nts de la distribution des machines à voyageurs du
r du Nord sont les suivants :

Course du piston. . . . .
Course du tiroir . . . .
Écartement des bords extérieurs des lumières d'admis
Id. intérieur *id.* .
Avance angulaire. . . . .
Recouvrement extérieur de chaque côté. . . . .
Id. intérieur *id.* . . . .
Avance linéaire à l'admission. . . . .
Id. à l'échappement . . . .

Ces proportions fournissent les résultats suiva

L'introduction de la vapeur commence un instant avant
l'extrémité de la course pour reprendre son mouvement rét
La vapeur est introduite sur une portion de la course du
gine, égale à $0^m,538$, et la détente a lieu sur le reste $0^m,12$
L'échappement commence lorsque le piston a encore à pa
L'échappement est fermé et la vapeur se comprime derri
gueur de $0^m,042$.

La détente produite par avance et recouvrem
des machines locomotives ; elle est aux 4/5 en
précédent (391); on la pousse généralement au
au 1/2; mais alors on rend le démarrage plus d

On a cherché à appliquer la détente variable
que, pendant la marche, le mécanicien puisse
nuer la puissance de sa machine selon les circ
qu'à présent aucun des systèmes essayés, qui
ou trois tiroirs superposés, n'est devenu d'un u
des sujétions occasionnées par la grande compli

La *coulisse de Stephenson* permet d'obtenir, av
dinaire à deux excentriques et à un seul tiroir,
qui, quoique imparfaite, n'en est pas moins dev
général, à cause de sa simplicité et de l'amélio
sultée dans le mécanisme destiné à opérer le ch
Avec cette coulisse, qui est en arc de cercle, o
détente depuis 6/7 jusqu'à 1/3 et même 1/5.

394. *Adhérence des roues motrices sur les ra*
chine locomotive puisse remorquer un convoi,
que sa force soit suffisante pour traîner ce conv
ait, au minimum, sans atteindre cette limite,
entre l'adhérence au pourtour des roues motric
transmise par les pistons tangentiellement aux r
pris la portion de cette force absorbée par le s
les différentes résistances passives de la loco
roues motrices tourneraient sur place. On doit

$$R-D > F-d;$$

ce ou frottement de glissement des roues motrices sur les rails;
,30 P sur des rails très-secs, R=0,13 P pour les rails humides, et,
a pratique, il convient de supposer R = 0,17 P (n° 496);
des roues motrices sur les rails; dans la pratique il convient que P
passe pas 10 000 kil. pour deux roues motrices; mais dans les puis-
machines nouvelles on va à 12 000 kil. Sur le chemin du Nord, tout se
se pour ne pas dépasser 11 000 kil.
e des roues motrices (509);
e des manivelles ou course des pistons (509);
n moyenne transmise par les deux pistons tangentiellement aux mani-
(89).

orie des machines locomotives. Cette théorie est un extrait
s complète donnée par M. de Pambour dans son *Traité des
comotives*, publié en 1840. Depuis le travail de M. de Pam-
comotives ayant changé dans leurs dispositions et pro-
surtout dans la distribution de la vapeur par les tiroirs,
ieu de faire de nouvelles expériences pour assigner aux
les valeurs qui leur conviennent aujourd'hui. La théorie
tives revient à la solution du problème suivant et de sa
: *Étant données les dimensions d'une machine locomotive,
harge qu'elle peut traîner avec une certaine vitesse;* réci-
t, *étant données la charge à traîner et la vitesse, trouver
ns de la machine.*

sition directe. Pour qu'il y ait équilibre dans une machine
on doit avoir, en rapportant la puissance et les résistances
carré de surface de piston,

$$R = R' + F' + p + p'v. \qquad (1)$$

n de la vapeur sur un mètre carré de surface de piston;
nce qu'oppose le convoi au mouvement des pistons;
nce que les frottements de la locomotive opposent au mouvement des pis-
;
nce due à la pression atmosphérique; elle est de 10 333 kilog. par mètre
é (390);
nce due à la vitesse avec laquelle la vapeur s'échappe dans la cheminée.

oulait rapporter la puissance et les différentes résistances
es des deux pistons, il suffirait de multiplier R, R', F', p et
d^2, d étant le diamètre des pistons en mètres.

alors de déterminer les valeurs de R', F', p et $p'v$.
ance totale que le convoi oppose au mouvement des pis-
$\frac{\pi d^2}{2}$, et, en appelant R″ la force nécessaire pour tirer di-
le convoi, pour qu'il y ait équilibre dynamique entre R' et
it avoir

$$\frac{R'\pi d^2}{2} \times 2l = R''\pi D, \quad \text{d'où} \quad R' = R'' \frac{D}{d^2 l}; \qquad (28 \text{ et } 19)$$

l course des pistons;
D diamètre des roues motrices.

Sur un chemin de fer, on a

$$R'' = KM + Km + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha;$$

$K = \frac{1}{250}$, coefficient de la résistance que le frottement des wagons oppose au mouvement (492);
M poids du convoi et du tender (480);
$KM = fP \frac{d}{D} + f'(P + p)$ (nos 484 et 485);
m poids de la locomotive (509);
v vitesse du convoi en kilomètres par heure;
$uv^2 = 0{,}EAV^2$ résistance que l'air oppose au mouvement du convoi (486);
α angle que fait le chemin avec l'horizon;
$(M + m) \sin \alpha$ composante du poids total, parallèle au chemin; elle est nulle sur chemin de niveau, et sur un chemin en pente elle est positive ou négative suivant que le convoi monte ou descend (488).

Remplaçant R″ par sa valeur dans celle de R′, on a

$$R' = [KM + Km + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha] \frac{D}{d^2 l}. \qquad (2)$$

La résistance F′ des différentes pièces de la locomotive sur les pistons est due à la résistance directe F de ces pièces quand la machine marche à vide, plus à une résistance directe δ qui est proportionnelle à l'effort de traction (495 et 506). En rapportant ces deux résistances au mouvement direct du convoi, on a donc, pour l'équilibre dynamique,

$$F'\pi d^2 l = F\pi D + \delta[KM + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha]\pi D;$$

d'où l'on tire

$$F' = F \frac{D}{d^2 l} + \delta[KM + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha] \frac{D}{d^2 l}. \qquad (3)$$

$\delta = 0{,}14$ pour les locomotives à roues libres;
$\delta = 0{,}22$ pour les locomotives à roues accouplées.

La valeur de $p'v$ est connue quand, pour une grandeur déterminée de v, on a p'. D'après les expériences de M. de Pambour, p' est donné par la formule

$$p' = \beta \frac{S'}{O}.$$

β coefficient égal à 0,14557;
S′ quantité d'eau vaporisée en mètres cubes par heure; cette valeur de S′ suppo

'y a pas de fuites de vapeur; dans le cas contraire, on diminuerait S'
n tenir compte ;
e la tuyère en centimètres carrés.

nple cité n° 502, on a $\frac{S'}{O} = \frac{1,7}{25,64} = 0,0663$; d'où l'on

$$p' = 0,11557 \times 0,0663 = 0,007662.$$

sur un centimètre carré de piston est donc 0,007662v kil.,
ètre carré, on a $p'v = 76,62v$ kilog.; cette valeur de $p'v$
primé en kilomètres par heure.
t les valeurs de R' et de F', (2) et (3), ainsi que celle de p'
r de R (1), on a, en remarquant que Km est compris dans
F,

$$+m)\sin\alpha]\frac{D}{d^2l} + F\frac{D}{d^2l} + \delta[KM + uv^2 \pm (M+m)\sin\alpha]\frac{D}{d^2l} + p + 76,62v,$$

$$[(K \pm \sin\alpha)M \pm m\sin\alpha + uv^2]\frac{D}{d^2l} + F\frac{D}{d^2l} + p + 76,62v. \quad (4)$$

$$s = \mu S.$$

vapeur à la pression R dépensé par heure dans le cylindre ;
l'eau qui a produit le volume s de vapeur;
e s à S (292).

oser

$$\mu = \frac{1}{n + qR}.$$

és constantes égales respectivement à 0,000 1421 et 0,000 000 0471
nd R est exprimé en kilogrammes sur un centimètre carré.

nt dans cette équation R par sa valeur (4), on a

$$\frac{1}{\ldots \delta)[(K \pm \sin\alpha)M \pm m\sin\alpha + uv^2]\frac{D}{d^2l} + F\frac{D}{d^2l} + p + 76,62v\Big)}. \quad (5)$$

se de vapeur pour chaque coup de piston est

$$\frac{1}{4}\pi d^2(l + c).$$

rté du cylindre ou espace perdu entre les fonds du cylindre et les faces
lu piston, y compris les passages de vapeur entre les tiroirs et le cy-
indre.

Le nombre des coups donnés par les 2 pistons et celui des tou[rs] faits par chaque roue motrice en une heure sont alors

$$\frac{\mu S}{\frac{1}{4}\pi d^2(l+c)} \quad \text{et} \quad \frac{\mu S}{\pi d^2(l+c)}.$$

Le chemin parcouru aussi en une heure, c'est-à-dire la vitesse [de] la locomotive en mètres par heure, est donc

$$V = \frac{\mu S \pi D}{\pi d^2(l+c)} = \frac{\mu S D}{d^2(l+c)};$$

en kilomètres cette vitesse est

$$v = \frac{V}{1000} = \frac{1}{1000} \times \frac{\mu S D}{d^2(l+c)}.$$

Remplaçant μ par sa valeur (5), on a

$$v = \frac{1}{1000} \times \frac{1}{q} \times \frac{l}{l+c} \times \frac{S}{(1+\delta)[(K \pm \sin\alpha)M \pm m\sin\alpha + uv^2] + F + \frac{d^2 l}{D}\left(\frac{n}{q} + p + ...\right.}$$

S étant le volume de l'eau employée pour former le volume [de] vapeur, et S′ celui de l'eau qui sort de la chaudière (vapeur formé[e] [et] eau qu'elle entraîne), on a, dans une locomotive,

$$S = 0{,}75S' \quad \text{ou} \quad S' = 1{,}33S.$$

En ayant égard aux pertes de vapeur par les soupapes de sûr[eté]

$$S' = 1{,}40\,S.$$

Dans une locomotive, la quantité d'eau évaporée croît proporti[on]nellement à la racine quatrième de la vitesse de la locomotive; [ai]nsi v étant la vitesse correspondant à la quantité d'eau évaporée S′, [et] celle correspondant à la quantité S″, on a

$$\frac{S'}{S''} = \frac{\sqrt[4]{v}}{\sqrt[4]{v''}}, \quad \text{d'où} \quad S' = S''\sqrt[4]{\frac{v}{v''}} \qquad (\textit{Int.}, 267 \text{ et } 35...)$$

Comme, à la vitesse $v'' = 32$ kilomètres à l'heure, on a trouvé [que] la quantité d'eau évaporée par heure était de $0^{mc},054$, c'est-à-dire 54 litres, par mètre carré de la surface de chauffe totale T, on a

$$S'' = 0^{m},054 \times T.$$

Par suite, il vient

$$S' = 0{,}054 \times T\sqrt[4]{\frac{v}{32}} \quad \text{et} \quad S = \frac{0{,}054 \times T\sqrt[4]{\frac{v}{32}}}{1{,}40}.$$

nt S par sa valeur dans la formule (6), on a

$$-c \times \frac{\dfrac{0{,}054 \times T \sqrt[4]{\dfrac{v}{32}}}{1{,}40}}{(1+\delta)[(K \pm \sin\alpha)M \pm m \sin\alpha + uv^2] + F + \dfrac{d^2 l}{D}\left(\dfrac{n}{q} + p + 76{,}62 v\right)}$$

laquelle on peut tirer directement la valeur de v; mais il , pour la facilité des calculs, déterminer cette valeur par t : on substitue à v, dans le second membre de l'équation, que l'on suppose approcher de la valeur réelle, et on tire n une seconde valeur de v, plus ou moins exacte, mais t plus de la vérité que la valeur supposée ; cette seconde stituée à son tour dans le second membre de l'équation, ne troisième plus exacte que la seconde ; opérant sur cette leur comme sur les précédentes, on en obtient une qua- exacte encore que la troisième, et en continuant ainsi de eut obtenir une valeur aussi approchée qu'on le veut de isant à l'équation précédente. Dans la pratique, on peut comme suffisamment exacte la troisième ou la quatrième

oquement, soit à déterminer la charge traînée par la lo- l suffit de tirer la valeur de M de l'équation (6), ce qui

$$)\left[\frac{1}{1000} \times \frac{l}{l+c} \times \frac{S}{qv} - \frac{d^2 l}{D}\left(\frac{n}{q} + p + 76{,}62 v\right) - F\right] - \frac{1}{K \pm \sin\alpha}(uv^2 \pm m \sin\alpha).$$

des locomotives. Une puissante locomotive fonctionnant nditions habituelles des machines fixes ne serait que de la à 30 chevaux ; mais en calculant sa puissance d'après la otale du convoi et l'espace parcouru dans une seconde, une force de 200 à 300 chevaux, et si l'on ne tient compte raction sur les wagons, on arrive à une force de 110 à x.

ile de M. Le Chatelier pour déterminer les dimensions des comotives (chemins de fer d'Angleterre en 1851).

atelier a calculé, par la marche simple suivante, trois loco- e à grande vitesse, système Crampton, une mixte et une dises; les résultats qu'il a obtenus s'accordent d'une ma- atisfaisante avec les dimensions de machines donnant un rvice sur nos chemins de fer.

achine devant parcourir, par exemple, 80 kilomètres à 22m,22 par seconde, comme il convient que le nombre de

tours des roues motrices soit compris entre 2,5 et 3 pour toutes l[es]
locomotives, pour 2,5 tours on aura pour le diamètre D de ces rou[es]

$D = \frac{22,22}{\pi \times 2,5} = 2^m,83$, et pour 3 tours $D = 2^m,36$; il est convenab[le]
de faire $D = 2^m,50$.

2° La pression étant 7 atmosphères dans la chaudière, la press[ion]
moyenne utile dans le cylindre est 4,5 atmosphères pour l'admissi[on]
au premier cran de la détente, en déduisant la pression atmosph[é]rique, plus 1,5 atmosphère pour la contre-pression, la détente,
compression et le passage de la vapeur de la chaudière aux cyli[n]dres, soit $p = 4^k,64$ par centimètre carré pour la pression [de]
4,5 atmosphères.

3° La résistance T du convoi se calcule avec la formule de M. Har[]ding (495).

4° Pour un tour des roues motrices, le travail produit par la v[a]peur devant être égal à celui absorbé par la résistance du convoi, o[n a]

$$T \times \pi D = p \times \frac{4\pi d^2 l}{4}, \quad \text{d'où} \quad T = p\,\frac{d^2 l}{D}.$$

T résistance totale du convoi en kilog.;
D diamètre des roues motrices en centimètres;
p pression moyenne utile de la vapeur dans les cylindres, en kilogrammes, [par] un centimètre carré; elle est égale à $4^k,64$ dans l'hypothèse du 2° (50[7]),
d diamètre des pistons, en centimètres;
l course des pistons, en centimètres.

Pour $T = 1920^k,64$, ce que fournit la machine du 1er exemple su[i]vant, en supposant $d = 42$, la formule précédente donne $l = 5[]$
soit 58 en nombre rond.

5° Faisant le coefficient d'adhérence des roues motrices sur [les]
rails égal à 1/6 (504), pour R = 1920 kilog., la charge des roues au[g]mentée du poids de ces roues devient 11520 kilog., soit 11,5 tonn[es].
Il conviendrait de limiter cette charge à 10 tonnes; cependant l'e[x]dant $1^t,5$ ne doit pas faire compliquer la machine en accoupla[nt]
deux paires de roues (504).

6° L'examen des machines fonctionnant bien ayant montré que l'o[n]
avait, S, S', S'' exprimant en mètres carrés les surfaces de chauffe [to]tales, par le foyer et par les tubes, et d, l le diamètre et la cour[se]
des pistons en décimètres,

$$\frac{S}{d^2 l} = 1 \quad \text{et} \quad \frac{S'}{S''} = \frac{1}{10}.$$

Comme	$d^2 l = 103,48$,		
on a donc	$S = 103^{mq},48$	soit	$104^{mq},50$
	$S' = 9,41$		$9,50$
	$S'' = 94,07$		$95,00$

; règles précédentes fournissent les résultats du tableau suivant :

Un train *express* de huit wagons, pesant chacun 7,5 tonnes, hant habituellement à la vitesse de 80 kilomètres à l'heure, sur impes de $0^m,005$ par mètre. Le poids de la machine est 25 tonnes, ui du tender chargé 12 tonnes.

Un train omnibus, marchant avec 16 wagons de 7,5 tonnes, à itesse qui n'excède pas 45 kilomètres à la montée des rampes de 5, et 55 kilom. sur niveau ou à la descente. Le poids de la ma- est 24 tonnes et celui du tender 11. Il y a deux paires de roues plées.

Jn train de marchandises marchant, avec 40 wagons pesant ıes chacun, à une vitesse de 30 kilom. à l'heure à la montée mpes de $0^m,005$, et à la vitesse de 40 kilom. à la descente. Le de la machine est de 28 tonnes et celui du tender 12. Les trois de roues sont accouplées.

DÉTAILS.	MACHINE		
	à voyageurs.	mixte.	à marchandises.
total du convoi.	97^t	155^t	400^t
ance due au mouve- (par tonne.	$11^k.84$	$8^k.27$	$5^k.60$
nt des véhicules. . . (totale. . .	1148 .48	1281 .85	2240 .00
ance additionn. due au mécan. .	287 .16	320 .46	448 .00
ance due à la gravité.	485 .00	775 .00	2000 .00
tance totale T.	1920 .64	2377 .31	4688 .00
ètre des roues motrices.	$2^m.50$	$1^m.78$	$1^m.30$
te sur les roues motrices	$11^t.50$	$14^t.86$	$28^t.13$
ètre des cylindres.	$0^m.42$	$0^m.40$	$0^m.46$
se des pistons.	0 .58	0 .57	0 .62
ce de chauffe du foyer.	9 .50	8 .29	11 .94
Id. des tubes	95 .00	82 .94	119 .40
Id. totale	104 .50	91 .20	131 .34

. *Quantités d'eau, de vapeur et de coke consommées dans une* *itre* (509 et 514). D'après M. de Pambour, s' étant le poids de vaporée, y compris l'eau entraînée par la vapeur, et s étant le de la vapeur, non compris les pertes par les soupapes, on a $75s'$.

observations et des expériences récentes font une plus large l'eau entraînée. Ainsi, dans les locomotives, la consommation étant de 9 à 10 kilog. par kilog. de coke consommé, comme es machines fixes, où l'eau entraînée est négligeable, 1 kil. de e très-bonne qualité ne produit que $6^k,5$ de vapeur (328) ; il en s que pour les locomotives la quantité d'eau entraînée ou con-

densée dans les cylindres est environ de 30 à 40 pour 100. L'expé-
rience directe fournit encore une proportion plus considérable;
ainsi des expériences faites sur le chemin d'Orléans par M. Ber-
ont donné, pour les machines à voyageurs et par kilomètre par-
couru, 5k,02 de coke brûlé, et 46k,10 d'eau dépensée, dont 42 p. 100
été entraînée ou condensée; pour les machines à marchandises,
nombres ont été respectivement 6,96, 71,17 et 52.

Le coke employé au chauffage des locomotives, pour être de bonne
qualité, ne doit pas laisser plus de 6 pour 100 de résidu (cendres,
schiste); il est de médiocre qualité s'il en laisse 9, et de mauvaise
en laisse 12 (n° 311).

*Comparaison entre la consommation de houille dans les locomotives à grilles
dins du système Chobrzynsky, et celle de coke dans les locomotives à grilles
naires sur le chemin de fer du Nord.* Les grilles inclinées permettent l'em-
bouilles très-maigres et sèches, que l'on rejette en général pour l'usage des
dières.

7	machines Crampton, à grilles nouvelles, ont parcouru 33 193 kilom., pour une consommation de 251 900 kilog. de houille, coûtant 27 fr. la tonne, rendue à la frontière, soit par kilom.	7k,6
14	autres machines Crampton, à grilles anciennes, ont parcouru 57 616 kilom., pour une consommation de 493 750 kil. de coke, coûtant 33 fr. la tonne rendue à la frontière, soit par kilomètre.	8,6
1	petite machine à voyageurs a brûlé en houille	7,[illegible]
9	machines semblables ont consommé en coke	8,4
4	machines à marchandises à petit foyer ont brûlé en houille et briquettes	8,[illegible]
6	autres machines semblables, en coke.	10,4
45	grosses machines à marchandises, en houille et briquettes.	13,[illegible]
32	de ces mêmes machines consommaient en coke.	15,9
	Sur le chemin d'Orléans.	
1	machine trains express, en houille.	5k,25
	Les autres machines semblables, en coke.	6,1
3	machines à marchandises du dépôt d'Ivry, en houille.	10,[illegible]
	Les autres machines du même système, en coke.	11,6
4	machines à marchandises du dépôt de Bordeaux, en houille de choix.	9,[illegible]
	Les autres machines du même dépôt, en coke de mauvaise qualité	11,[illegible]
9	machines du dépôt d'Orléans, houilles diverses	11,3
	Les autres machines du même dépôt, en coke.	11,7
4	machines du dépôt de Tours, en houilles diverses.	10,6
	Les autres machines du même dépôt, en coke	10,1

308. *Stabilité des machines locomotives.* Si une machine locomo-
tive n'était soumise qu'au mouvement régulier de translation pa-
lèlement à l'axe de la voie, en même temps que les pièces mobiles
mécanisme restent périodiquement dans la même position relative,

machine est stable. Dans la pratique, cette stabilité ne se ainsi, on remarque que la machine oscille autour d'un et que, sous l'influence de ce mouvement, appelé *mou-lcet*, et celui de progression, elle avance en serpentant; également autour d'un axe horizontal transversal à la nd ce que l'on appelle un *mouvement de galop*; elle exé- un *mouvement de roulis*, c'est-à-dire d'oscillation autour rallèle à la voie; enfin, elle exécute en outre, par rap- uvement de progression le long des rails, un mouvement atif *d'avance et de recul*, que l'on a appelé improprement *le tangage* ou *mouvement de recul*.

s de ces mouvements nuisibles au degré de stabilité d'une sont dus au mode de construction et d'entretien de la qu'à celui de la locomotive, à l'inertie des pièces mobiles ine, et aux réactions intérieures produites par la va-

ientation de poids des rails et la forme bombée sur un rayon ᵐ,45 donnée au champignon (468), on a atténué ces mou- asites; on les a diminués aussi par la perfection apportée struction des machines, et depuis quelque temps l'usage poids appliqués sur les roues motrices, à l'opposé de la a produit de bons effets relativement à l'influence de pièces mobiles de la machine.

ui les contre-poids sont réglés d'après une règle donnée atelier en 1849. Depuis cette époque, les effets des contre- soumis à l'analyse successivement par MM. Yvon-Villar- e et Resal.

ensions des parties principales des machines locomotives.

u. Elle a la forme d'un parallélipipède rectangle. La pre- oppe est en cuivre rouge de première qualité et de 0ᵐ,010 paisseur, dont une seule feuille forme le ciel et les faces épaisseur de la plaque tubulaire, à l'endroit où elle reçoit teint 0ᵐ,025. L'enveloppe extérieure est en tôle de fer; elle l'enveloppe intérieure par des entretoises en cuivre de mètre, à vis sur toute leur longueur, à tête rabattue des et espacées de 0ᵐ,10 les unes des autres d'axe en axe.

a grille occupe toute la base de la boîte à feu. La hauteur upérieure de la grille au-dessus de l'arête inférieure de feu est de 0ᵐ,12 environ. Pour que l'air entre facilement r, la boîte à feu doit se trouver à 0ᵐ,35 au moins au-dessus lessus de la boîte à feu est à 0ᵐ,35 ou 0ᵐ.45 au-dessous de rieure du corps cylindrique de la chaudière, et il doit être 0ᵐ,10 d'eau. La porte du foyer est placée à 0ᵐ,90 ou 0ᵐ,95 de la grille, et à 0ᵐ,10 environ au-dessus de la plate-

forme ; son ouverture, qui est ovale ou rectangulaire avec angles arrondis, a ordinairement $0^m,35$ sur $0^m,27$.

Les barreaux de la grille sont en fer forgé ou laminé; ils ont habituellement $0^m,10$ de hauteur au milieu, $0^m,015$ à $0^m,020$ de largeur en haut et de $0^m,010$ à $0^m,012$ en dessous. Leur écartement ne doit guère dépasser la limite de $0^m,020$ à $0^m,025$; cependant on augmente cet écartement quand le coke est impur et produit du mâchefer.

L'épaisseur du combustible sur la grille varie de $0^m,50$ à $0^m,70$. Un kilogramme de coke consomme 18 mètres cubes d'air froid [illegible] et produit, quand il est bon, 6 et le plus souvent 6,5 kilog. de vapeur (328 et 507).

Tubes. Les tubes étaient en cuivre rouge; mais aujourd'hui on les fait en laiton, qui est moins promptement usé par le frottement des particules de coke entraînées par la fumée. Leur épaisseur varie de $0^m,002$ à $0^m,0025$, et leur diamètre extérieur de $0^m,043$ à $0^m,050$. L'épaisseur d'eau qui les sépare varie de $0^m,013$ à $0^m,020$, et il convient, pour que les dépôts y adhèrent moins et que la vapeur se dégage facilement, de se rapprocher de l'écartement supérieur, qui affaiblit encore moins les plaques quand on change les tubes.

Les viroles ont $0^m,002$ d'épaisseur; elles sont en acier, et quelquefois en fer pour le côté de la boîte à fumée, souvent même on les supprime de ce côté, en se contentant de mandriner fortement et de river l'extrémité des tubes.

Cheminée. En France, la hauteur totale de la locomotive ne pouvant dépasser $4^m,25$ au-dessus du rail, la hauteur des ouvrages d'art étant de $4^m,30$, il en résulte que la hauteur de la cheminée proprement dite n'est que de $1^m,60$ à $2^m,00$, selon la hauteur de la chaudière (452). La cheminée est formée d'une seule feuille de tôle de $0^m,004$ à $0^m,005$ d'épaisseur, et elle est garnie à la partie supérieure d'un capuchon que l'on ferme pendant les temps d'arrêt.

Roues. Une roue se compose du *moyeu*, des *rais*, d'un *bandage* et quelquefois d'un *faux-cercle*. Le moyeu est en fonte ou en fer forgé. Il y a quelques années, les rais étaient en fer laminé; aujourd'hui on préfère les rais en fer forgé. La jante est formée d'autant d'éléments qu'il y a de rais; ces éléments sont soudés entre eux et forment la jante, sur laquelle le bandage s'applique à chaud et s'y fixe par des rivets ou des boulons (481).

Aujourd'hui, le moyeu, les bras et la jante sont le plus souvent d'une seule pièce en fer; c'est ce que l'on doit préférer pour les machines à grande vitesse; mais dans la plupart des cas, comme pour les machines à petite vitesse destinées au transport des marchandises, on peut employer les roues à moyeux en fonte, dans lesquelles les bras en fer forgé sont réunis à la coulée; on peut du reste

poids des moyeux, et ajouter à leur solidité, à l'aide de
er placées à chaud.

le bandage s'applique parfaitement sur la jante, on
vance les surfaces de contact, et on pose le bandage à
un serrage de 0m,002 à 0m,003. Ce serrage doit du reste
le diamètre de la roue, son mode de construction et la
fer employé; quand les rais sont en fer forgé ou en fer
que la jante est formée par un faux cercle qui a déjà été
ud, il faut moins de serrage que pour un bandage qui re-
ement sur des rais en fer laminé, qui, par leur forme,
s une certaine élasticité. Dans ce dernier cas, le ban-
t pas été préalablement alésé, on a donné jusqu'à 0m,005
serrage, tandis que pour des roues de support de 1m,00
e, on s'est contenté d'un serrage de 0m,001 sur des rais
é.

ge a environ 0m,14 de largeur totale, et une épaisseur de
6 au milieu. Le boudin a une saillie de 0m,03 à 0m,04, et
rdé avec la surface de roulement par un congé qui cor-
l'arrondissement de la face latérale du champignon du
est un peu plus ouvert pour éviter les frottements. La
ant placée au milieu de la voie, il y a un jeu de 0m,01 à
chaque boudin et le rail, ce qui donne à la machine un
à 0m,04. Le profil du bandage présente, comme celui du
ne inclinaison de 1/20, et comme on a remarqué que
t lieu principalement au milieu de la largeur, on fait un
l'extérieur, pour diminuer le travail et la perte de ma-
e fois que la roue est mise sur le tour. Les bandages,
x des roues motrices, doivent être en acier fondu ou
en fer dur et aciéreux, en fer au bois de première qua-
lé, soudé et étiré au marteau; ils doivent recevoir entiè-
à très-peu près, leur forme définitive dans des étampes
n du marteau; ils ne doivent, tout au plus, passer au
ie pour être parés et dressés. Il convient de disposer les
endiculairement à la surface de roulement. La fabrication
es en acier fondu, sans soudure, commence à devenir

Ils sont en acier fondu doux ou en fer fort de première
faitement soudé et corroyé, exempt de pailles, criques
léfauts, surtout dans les parties frottantes. On doit leur
forge, sous l'action du marteau, une forme qui se rappro-
xactement que possible de la forme définitive, afin que
i donne les meilleures surfaces de frottement, ne soit pas
le tour. C'est aux soins apportés à la fabrication des es-
choix des matières premières, ainsi qu'à l'augmentation

de leur diamètre, qu'est due surtout la sécurité de la circulation sur les chemins de fer. Il faut éviter avec soin les angles vifs; toutes les parties de diamètres différents doivent se raccorder par des congés prononcés. C'est presque toujours aux angles vifs que commencent les ruptures. En ne comptant comme contact que le tiers de la surface du coussinet, la charge des fusées varie de 12 à 15 kil. et de 15 à 18 kil. par centimètre carré de ce contact, selon que les machines sont à petite ou à grande vitesse (59 et 180).

Distance des essieux extrêmes. Pour une vitesse maxima de 60 kilomètres à l'heure, la limite raisonnable d'écartement des essieux paraît devoir être de $3^m,50$ pour un rayon minimum de 400 mètres (160 et 189), ce rayon minimum pouvant être de 300 mètres à une station où l'on arrête toujours, et de 200 mètres sur les voies de service et les croisements. Cette limite raisonnable d'écartement est de 4 mètres, quand les rayons précédents sont respectivement 1 000 mèt., 500 mèt. et 300 mètres.

La distance des essieux extrêmes doit, du reste, être plus petite pour les machines à roues accouplées que pour celles à roues libres qui se déplacent plus facilement sur les courbes; c'est ce qui explique que pourquoi, dans les machines Crampton, on a pu porter cette distance à $4^m,86$ pour le chemin du Nord.

Coussinets. Ils sont en bronze, dont la composition oscille autour des proportions de 82 de cuivre et 18 d'étain, avec 1 à 3 p. 100 de zinc. En France, on a renoncé généralement aux divers alliages essayés dans un but d'économie.

Ressorts. Ils se font en acier fondu de première qualité. Toutes les feuilles ont une épaisseur uniforme qui varie de $0^m,010$ à $0^m,012$; rarement elle atteint $0^m,015$. Le nombre des feuilles varie ordinairement de 10 à 14. Sous charge, l'amplitude totale des oscillations ne dépasse pas habituellement $0^m,02$ à $0^m,03$, et elle n'atteint pas la limite $0^m,05$. Il y a quelques années, les ressorts se faisaient en acier ordinaire cémenté, et le nombre des feuilles variait de 17 à 22.

Pistons. Les pistons à vapeur ont pour garniture deux cercles superposés en fonte ou en bronze, rarement en acier; chaque cercle a ordinairement $0^m,03$ de hauteur, de sorte que la garniture a $0^m,06$. Près de la fente, l'épaisseur des cercles varie de $0^m,015$ à $0^m,02$, et cette épaisseur va en augmentant jusqu'à l'extrémité opposée du diamètre; leur élasticité propre les applique contre le cylindre. Quelquefois les cercles sont composés de segments que des ressorts intérieurs appliquent contre le cylindre.

Tiroirs. Les tiroirs sont en bronze, et de préférence en fonte, qui a plus de durée sans réparation, donne de plus belles surfaces frottantes, mais nécessite plus de soins de graissage.

Tuyaux à vapeur. La section intérieure des tuyaux de prise de

rie de 1/10 à 1/12 de celle de chaque cylindre, et celle des
bifurcation doit être égale à la moitié au moins de la pré-
La section du tuyau d'échappement est habituellement,
que cylindre, égale à celle du tuyau de prise de vapeur,
e à environ le 1/10 de l'aire du piston ; si le tuyau est com-
deux cylindres, cette section doit être doublée.

. Pour déterminer le volume des pompes alimentaires, on
poids de vapeur correspondant à 4 cylindrées, on aug-
poids calculé à l'aide de la table du n° 292 de 30 pour 100,
nir compte de l'eau entraînée, et le résultat trouvé est le
n litres que doit fournir chaque pompe par coup de piston,
seule pompe doit pouvoir faire le service de la machine.
ne pompe ne donne que 60 pour 100 d'effet utile, et qu'elle
nctionner que pendant le 1/3 du temps d'activité de la ma-
volume doit donc être égal à celui de l'eau à fournir mul-
$1,5 \times 3 = 4,5$. Le diamètre du piston est habituellement de
course de $0^m,10$ à $0^m,14$. La bielle qui commande le plon-
avoir au moins $0^m,40$ de longueur. Chaque pompe puise son
le tender à l'aide d'un tuyau en cuivre rouge de $0^m,04$ à
iamètre et de $0^m,003$ d'épaisseur; ce tuyau est disposé de
à permettre les mouvements relatifs de la machine par
u tender. Chaque pompe a également un tuyau de refoule-
cuivre rouge de même diamètre et de même épaisseur que
l'aspiration.

pes sont garnies de trois soupapes à boulet, une d'aspira-
ux de refoulement.

des dimensions principales de quelques machines locomotives (extrait du *Guide du Mécanicien*).

LÉGENDE DU TABLEAU SUIVANT.

Les n°s 1, 6, 7, 12, sont à cylindres intérieurs; tous les autres sont à cylindres

geurs. Ce type, établi par Sharp et Roberts, en 1840, pour le chemin de Ver-
e d'une puissance inférieure à celle des machines actuelles, est encore en service
de chemins, où la bonne disposition de toutes ses parties et sa solidité l'ont
u temps. La plupart de ces machines ont été récemment transformées en ma-
; les caisses à eau sont situées soit derrière le foyer, soit latéralement en dehors
; elles font encore avec succès le service de banlieue dans la semaine.

geurs. Ces machines, que M. Buddicom a introduites en France en 1845, à
construction du chemin de fer de Paris à Rouen, se font remarquer par la sim-
construction, par la facilité et l'économie des réparations et par leur poids, qui
2,5 tonnes sans charge. Elles peuvent être considérées comme un bon type de
ulement la position des cylindres, qui est combinée de manière à diminuer le
sur les côtés et en avant de l'essieu antérieur, et celle des tiroirs, qui est en
as permis jusqu'ici de leur appliquer d'une manière convenable la détente varia-
de la coulisse de Stephenson ; l'inclinaison des cylindres leur donne, en outre,
marquée au mouvement de galop. Le tender de M. Buddicom est le type de ce
de plus simple sur nos lignes françaises.

N° 3. *Voyageurs*. Ces machines étudiées et construites chez M. Cail, en 1856, rappellent dans leurs dispositions fondamentales, celles construites en 1847 sur les plans de M. A. Lerault, et qui furent le point de départ de la réaction contre le système des trois essieux entre la boîte à feu et la boîte à fumée. Ces machines font un excellent service. Le tender, construit sur les plans de la compagnie de Lyon, par M. Farcot, est simple et d'un bon service.

N° 4. *Voyageurs*. Ces machines ont été construites, en 1856, par M. Gouin, d'après un projet étudié dans les bureaux de la compagnie du Midi, pour le service à grande vitesse. Tout le mécanisme moteur, cylindres, excentriques, coulisses, relevages, pompes, est à l'extérieur. Les excentriques sont montés sur une contre-manivelle en porte-à-faux, du système ..., appliquée d'abord aux machines Crampton, puis aux machines Engerth. Ces machines sont remarquables aussi par leur puissance de vaporisation et de traction. Le tender est simple, léger, à quatre roues et châssis de bois à quadruple longeron.

N° 5. *Crampton*. Ce type a été construit, en 1849, par MM. Derosne et Cail, sur le plan d'ensemble de M. Crampton, pour le service des trains *express* du chemin de fer du Nord. Après avoir essayé diverses modifications, entre autres l'augmentation du diamètre des roues porté à 2m,30, on est revenu, sauf pour quelques détails, au type primitif. Ces machines se distinguent essentiellement de tous les autres types par l'abaissement de leur centre de gravité, leur grande stabilité, la grande dimension de leurs fusées, la solidité de leurs organes et en particulier du châssis, leur puissance de vaporisation et la facilité de la surveillance en marche; toutes ces conditions sont essentielles pour un service où la vitesse peut atteindre, exceptionnellement il est vrai, jusqu'à 100 kilom. Le tender se distingue principalement par les dimensions des essieux et par le système complet d'accouplement.

N° 6. Ces machines *mixtes*, du chemin de fer de Lyon, ont été construites, en 1841, par M. E. Gouin, en prenant pour point de départ un type de MM. Sharp frères. Les cylindres sont intérieurs et inclinés, pour que les tiges des pistons et les glissières puissent passer au-dessus de l'essieu des roues d'avant, qui sont accouplées avec les roues du milieu. Ces machines ont une grande surface de chauffe et un grand réservoir de vapeur; elles font un très-bon service. Quelques-unes de ces machines ont été montées sur des roues de 1m,80 de diamètre. Le tender est le même que pour les machines à voyageurs.

N° 7. Ces *machines à marchandises* ont été construites, en 1855, aux ateliers du chemin de fer d'Orléans, sous la direction de M. C. Polonceau. Leurs particularités sont : un châssis à ... longeron, l'application d'un ressort sur le milieu de l'essieu moteur, entre les ressorts ordinaires sur les fusées extrêmes de ce même essieu. Les cylindres sont intérieurs; les boîtes à tiroirs, le mécanisme de distribution et de relevage, ainsi que les pompes alimentaires sont en dehors des roues et très-facilement abordables. Même tender que pour les machines à voyageurs, sauf les dimensions d'essieux et de roues.

N° 8. Ces *machines à marchandises*, du chemin de fer du Bourbonnais, construites en grand nombre dans les ateliers de M. Cail et dans ceux d'Oullins-lès-Lyon, sur les plans de M. Houël, sont d'une puissance à laquelle on ne peut comparer que les locomotives du système Engerth, en service sur d'autres lignes françaises. Elles semblent être la dernière expression de la force qu'il parait possible d'obtenir sur la voie étroite, en restant dans les formes et dispositions ordinaires. Elles ont été construites principalement en vue de desservir la section de Lyon à Roanne, où il existe des rampes de 0m,018 à 0m,020 ; elles sont à cylindres extérieurs très-solidement attachés ; les pompes alimentaires sont extérieures ainsi que les châssis; le mécanisme de distribution est entre les châssis; les trois paires de roues accouplées sont entre la boite à feu et les cylindres à vapeur, avec un très-grand porte-à-faux sur les essieux extrêmes, qui ne parait cependant pas nuire à la stabilité; la charge des essieux est, d'ailleurs, très-convenablement répartie.

N° 9. *Service des gares*. Ces machines ont été construites, en 1856, dans les ateliers de la compagnie du chemin d'Orléans, sous la direction de M. Polonceau, et imitées par la compagnie de l'Est. Employées pour opérer la manœuvre des wagons dans les grandes gares, elles sont destinées à donner une vitesse très-restreinte, mais à fonctionner dans toutes les courbes en démarrant rapidement. Leurs cylindres et tout le mécanisme sont à l'extérieur; elles portent leur eau dans une bâche sous le corps cylindrique, et leur coke dans deux caisses placées contre la boite à feu. Au chemin de fer du Midi, des machines à peu près semblables sont montées seulement sur quatre roues accouplées.

Machines à fortes rampes. En 1858, on a construit, chez M. Gouin, pour le chemin du Nord, des machines destinées à remorquer des charges ordinaires sur des embranchements d'une faible longueur, à profil accidenté, à petite vitesse et en ménageant la voie; elles n'emportent qu'une provision d'eau et de combustible suffisante pour un petit parcours. Ces machines

le trois parties distinctes, superposées l'une au-dessus de l'autre, qui peuvent aide d'une grue pour les réparations, savoir : 1° le mécanisme avec les roues et a bâche à eau en un seul réservoir complet; 3° la chaudière. La machine a quatit diamètre, toutes accouplées; tout le mécanisme est en dehors; c'est une sorte a machine de gare.

ème Engerth, pour marchandises, du chemin de fer du Midi, construction de 1855. Comme dans le système primitif de M. l'ingénieur Engerth, le mécanisme en dehors, et le tender, réuni à la machine par une cheville ouvrière en forme mobile, supporte le foyer par les côtés. La machine proprement dite est portée es de roues situées sous le corps cylindrique, entre la boite à feu et les eur; les caisses à eau sont latérales sur la machine; la pression exercée sur les ues motrices est sensiblement égale. Ces machines étant destinées au midi de la limat est très-favorable (504), on n'a pas craint de laisser l'adhérence un peu ort à la puissance de vaporisation.

me Engerth, pour marchandises, 1856. Ces machines, construites en grand s lignes du Nord et de l'Est, au Creusot, et sur les plans étudiés dans cet sont principalement destinées à la traction des trains très-pesamment chargés, nent au transport des houilles. Ce sont les plus puissantes qui aient encore été ervice courant. Tout le mécanisme est extérieur. On remarque dans ces masurface de chauffe, l'accouplement, par des bielles ordinaires, de quatre paires s entre le cylindre et la boite à feu, et la répartition convenable du poids. Le é jusqu'ici une assez grande complication dans la construction du châssis et lindres, dont le poids et les dimensions sont considérables. En somme, ces ma- n service excellent.

rth, mixtes, 1857. Ces machines, construites aux ateliers du chemin de fer du par M. Cavé, M. Kessler et par l'usine de Graffenstadten, sur les plans de la Nord, ont pour but spécial de remorquer les trains très-chargés de voyageurs dises à grande vitesse. Ce sont de puissantes machines mixtes à quatre roues t la vaste chaudière a dû être reportée en partie sur le tender. Le mécanisme sont entre les châssis, qui sont eux-mêmes intérieurs; les pompes alimentaires dehors.

DÉTAILS.												
NUMÉRO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CHEMIN.	Versailles.	Havre.	Lyon.	Midi.	Nord.	Lyon.	Orléans.	Bourbonn.	Orléans.	Midi.	Nord.	Nord.
SERVICE.	Voyageurs.	Voyageurs.	Voyageurs.	Voyageurs.	Crampton.	Mixte.	Marchandis.	Marchandis.	Gares.	Engerth.	Engerth.	Engerth mixtes.
DATE de la construction.	1840	1845	1856	1856	1849	1849	1855	1857	1856	1855	1856	1857
Boîte à feu.	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Longueur de la grille	1.028	1.016	1.184	1.282	1.370	1.203	1.100	1.350	0.920	1.666	1.440	1.282
Largeur *id.*	1.018	1.067	1.018	1.052	1.040	1.012	1.100	1.010	0.920	1.080	1.350	1.050
Surface *id.*	1.046	1.084	1.2053	1.349	1.425	1.253	1.210	1.3635	0.846	1.799	1.944	1.340
Hauteur du 1er rang de tubes au-dessus de la grille	0.530	0.542	0.745	0.792	0.560	0.870	0.800	0.812	0.600	0.749	0.766	0.919
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille.	1.168	1.187	1.436	1.518	1.313	1.505	1.520	1.504	1.220	1.570	1.660	1.442
Chaudière.												
Nombre de tubes	162	145	156	180	177	155	204	197	137	197	235	180
Longueur des tubes	2.550	2.867	3.550	3.462	3.615	3.226	4.478	4.250	3.365	4.750	5.000	4.500
Diamètre intérieur des tubes	0.039	0.045	0.0455	0.045	0.046	0.046	0.043	0.0455	0.043	0.050	0.0516	0.046
Épaisseur des tubes	0.002	0.002	0.0023	0.002	0.002	0.002	0.0025	0.0023	0.0025	0.002	0.0022	0.002
Surface totale des tubes	50.012	58.870	83.512	88.053	93.550	77.600	114.900	124.898	62.000	142.372	186.688	147.000
Id. du foyer	5.868	5.798	6.779	7.777	7.000	7.860	7,300	8.016	5.050	9.508	9.708	8.500
Id. totale de chauffe	55.880	64.668	90.291	95.830	100.550	85.460	122.200	132.014	67.050	151.880	196.396	195.500
Écartement moyen intérieur des deux enveloppes du foyer	0.080	0.076	0.080 / 0.075	0.075 / 0.070	0.076 / 0,071	0.078 / 0.076	0,075	0.080 / 0.075	0.080	0,080	0.100	0 095 / 0.080
Diamètre intérieur du corps cylindrique	1.115	1.098	1.255	1,258	1,200	1.146	1.300	1.354	1.116	1.384	1.500	1.258
Longueur *id.*	2.434	2.743	3.475	3.365	3,550	3.100	4.050	4.475	3.240	4.085	4.885	4.300
Épaisseur de la tôle	0.010	0.010	0,0125	0.011	0.010	0.012	0,013	0.013	0.010	0,013	0.015	0.013
Id. de la tôle de la boîte à feu extérieure	0.010	0.010	0.013	0.012	0,012	0.012	0,013	0.012	0.012	0,013	0.015	0.018
Id. du cuivre du ciel et des parois latérales du foyer	0.010	0.012	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.013	0.012	0.012	0.015	0.018
Id. du cuivre de la plaque des tubes	0.020	0.040	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.025	0.025

Épaisseur de la plaque des tubes	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Épaisseur des parois latérales	0.007	0.006	0.010	0.011	0.010	0.006	0.010	0.010	0.008	0.013	0.015	0.013
Cheminée.												
Diamètre intérieur	0.350	0.330 / 0.355	0.400	0.400	0.400	0.400	0.420	0.450	0.340	0.450	0.440	0.400
Épaisseur de la tôle	0.003	0.004	0.005	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.005	0.004	0.005	0.004
Hauteur au-dessus de la boîte à fumée	1.680	1.875	1.900	1.650	1.950	1.947	1.800	2.090	1.980	1.575	1.417	1.496
Alimentation.												
Diamètre du plongeur	0.045	0.0508	0.052	0.055	0.064	0.052	0.110	0.060	0.045	0.135	0.072	0.090
Course id.	0.461	0.558	0.600	0.560	0.550	0.560	0.120	0.650	0.460	0.126	0.660	0.220
Volume engendré par coup de piston, en décimètres cubes	0.730	1.430	1.271	1.330	1.760	1.180	1.140	1.837	0.730	1.930	2.606	1.400
Diamètre cylindrique du siége des clapets	0.038	0.050	0.050	0.050	0.060	0.048	0.060	0.065	0.044	0.060	0.060	0.060
Levée des soupapes	0.024	0.013	0.013	0.015	0.012	0.012	0.008	0.010	0.015	0.015	0.014	0.014
Section d'écoulement par les soupapes, en décimètres carrés	0.413	0.190	0.157	0.200	0.160	0.148	0.400	0.204	0.430	0.280	0.180	0.180
Diamètre des tuyaux d'aspiration	0.040	0.054	0.054	0.055	0.064	0.052	0.055	0.059	0.045	0.060	0.054	0.054
Id. de refoulement	0.040	0.050	0.054	0.050	0.064	0.054	0.055	0.059	0.045	0.060	0.054	0.054
Épaisseur des tuyaux	0.004	0.0025	0.003	0.003	0.003	0.0025	0.0025	0.003	0.0025	0.003	0.003	0.003
Prise de vapeur.												
Section d'ouverture maxima du régulateur	0.0136	0.0303	0.0131	0.0198	0.0132	0.0134	0.0100	0.0149	0.0100	0.0194	0.0177	0.0197
Diamètre intérieur du tuyau de prise de vapeur	0.420	0.465	0.440	0.445	0.145	0.438	0.445	0.450	0.443	0.465	0.445	0.444
Épaisseur id.	0.004	0.004	0.002	0.0015	0.0015	*b*0.0400	0.0015	0.0025	0.0015	0.0015	0.0025	0.002
Diamètre des tuyaux allant aux cylindres	0.090	0.114	0.100	0.120	0.120	*c*0.138	0.100	0.110	0.100	0.135	0.110	0.100
Échappement.												
Diamètre du tuyau d'échappement	0.100	0.152	0.140	0.160	0.160	0.280 / 0.080	0.110	0.150	0.120	0.105	0.210 / 0.100	0.160 / 0.126
Section maxima de la tuyère d'échappement	0.0100	0.0095	0.0115	0.0242	0.0220	0.0138	0.0250	0.0451	0.0156	0.0208	0.0158	0.0174
Section minima id.	0.0040	0.0095	0.0034	0.0043	0.0025	0.0047	0.0041	0.0040	0.0026	0.0073	0.0039	0.0040

a boîte à fumée cylindrique formant le prolongement de la chaudière. *b* en fonte : les autres en tôle ou cuivre. *c* un seul tuyau pour les deux cylindres.

DÉTAILS.	NUMÉRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	CHEMIN	Versailles.	Havre.	Lyon.	Midi.	Nord.	Lyon.	Orléans.	Bourbonn.	Orléans.	Midi.	Nord.	Nord.
	SERVICE	Voyageurs.	Voyageurs.	Voyageurs.	Voyageurs.	Crampton.	Mixte.	Marchand.	Marchand.	Gares.	Engerth.	Engerth.	Engerth mixtes.
	DATE de la construction.	1840	1845	1856	1856	1849	1849	1855	1857	1856	1855	1856	1857
Longueur totale de la conduite d'échappement depuis le tiroir		m 1.950	m 1.350	m 2.130	m 1.380	m 2.425	m 1.882	m 1.950	m 2.450	m 2.100	m 2.113	m 2.300	m 1.500
Épaisseur des tuyaux d'échappement		0.004	0.0025	0.0025	0.003	0.003	0.008	0.0025	0.0025	0.0025	0.003	a0,012	a0,012
Distribution.													
Angle d'avance		30°	34°	12°	av. 15° arr. 29°	15°	33°	30°	12°19′	17°28′	30°	15°25′	30°
Rayon d'excentricité		m 0.048	m 0.055	m 0.085	m 0.065	m 0.092	m 0.063	m 0.060	m 0.075	m 0.060	m 0.057	m 0.070	m 0.045
Course maxima des tiroirs		0.115	0.110	0.116	0.130	0.184	0.103	0.119	0.100	0.080	0.114	0.140	0.090
Lumière d'admission	Longueur	0.192	0.305	0.340	0.300	0.300	0.305	0.280	0.340	0.250	0.315	0.350	0.360
	Largeur	0.044	0.032	0.042	0.040	0.050	0.046	0.035	0.040	0.035	0.045	0.045	0.031
	Section, en décimètres carrés	0.836	0.976	1.300	1.200	1.500	1.400	0.980	1.360	0.870	1.420	1.570	1.120
Longueur développée du conduit d'admission		0.250	0.350	0.380	0.320	0.400	0.310	0.465	0.430	0.320	0.330	0.385	0.305
Volume du cond. d'admission, en décim. cubes		2.09	3.83	5.00	3.84	6.00	4.34	4.55	5.85	2.80	4.69	6.06	3.40
Lumière d'échappem.	Longueur	0.192	0.305	0.310	0.300	0.300	0.305	0.280	0.340	0.250	0.315	0.350	0.360
	Largeur	0.070	0.055	0.080	0.075	0.090	0.086	0.065	0.072	0.065	0.090	0.090	0.085
	Section, en décimètres carrés	1.344	1.678	2.480	2.250	2.700	2.600	1.820	2.450	1.625	2.830	3.150	3.600
	Longueur	0.270	0.355	0.370	0.360	0.360	0.365	0.330	0.410	0.300	0.381	0.420	0.420

Ressorts.													
1er ressort (avant).	Longueur	0.778	0.711	0.880	1.000	0.966	0.740	0.940	0.880	0.760	0.900	1.000	1.000
	Largeur	0.100	0.088	0.090	0.090	0.100	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
	Hauteur au milieu	0.118	0.102	0.132	0.120	0.150	0.140	0.144	0.132	0.100	0.132	0.180	0.144
	Flèche sous charge	0.100	0.0285	0.050	»	0.172	0.060	0.0377	0.050	0.0346	0.023	0.055	»
2e ressort.	Longueur	0.778	0.762	0.880	1.000	0.966	0.710	0.940	0.880	1.220	0.900	1.300	1.000
	Largeur	0.100	0.088	0.090	0.090	0.100	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
	Hauteur au milieu	0.125	0.112	0.132	0.180	0.115	0.140	0.120	0.132	0.210	0.132	0.255	0.144
	Flèche sous charge	0.100	0.0888	0.046	»	0.115	0.060	0.030	0.050	0.0642	0.023	0.060	»
3e ressort (1).	Longueur	0.675	0.709	c1.21	1.000	0.966	c1.20	0.940	0.556		0.900		0
	Largeur	0.074	0.088	0.090	0.090	0.100	0.105	0.090	0.090	d	0.090	d	0
	Hauteur au milieu	0.070	0.088	0.120	0.180	0.150	0.170	0.144	0.090		0.132		0
	Flèche sous charge	0.090	0.123	0.079	»	0.172	0.158	0.0377	0.019		0.024		0
Roues et essieux.													
Nomb. de paires de roues fixes et propres à la mach.		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	2
Diamètres des roues.	1re (avant)	1.050	1.220	1.310	1.200	1.350	1.600	1.377	1.260	1.077	1.300	1.258	1.739
	2e	1.660	1.675	1.810	2.100	1.220	1.600	1.377	1.260	1.077	1.300	1.258	1.739
	3e	1.050	1.070	1.110	1.200	2.100	1.100	1.377	1.260	1.077	1.300	1.258	0
	4e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.258	0
1er essieu (avant).	Diamètre de la fusée	0.087	0.101	0.160	0.180	0.150	0.165	0.140	0.180	0.140	0.180	0.170	0.190
	Longueur de la fusée	0.150	0.203	0.250	0.240	0.300	0.180	0.230	0.250	0.140	0.240	0.250	0.180
	Diam. à la portée de calage	0.127	0.139	0.180	0.190	0.230	0.186	0.176	0.195	0.140	0.200	0.200	0.200
	Diamètre au milieu	0.108	0.120	0.145	0.165	0.160	0.155	0.145	0.170	0.145	0.180	0.160	0.175
2e essieu.	Diamètre de la fusée	0.102	0.152	0.170	0.180	0.180	0.165	0.140	0.190	0.140	0.180	0.170	0.190
	Longueur de la fusée	0.144	0.167	0.250	0.240	0.250	0.170	0.170	0.250	0.140	0.240	0.250	0.180
	Diam. à la portée de calage	0.165	0.178	0.185	0.190	0.190	0.186	0.176	0.205	0.140	0.200	0.200	0.200
	Diamètre au milieu	0.152	0.152	0.165	0.165	0.150	0.160	0.175	0.180	0.145	0.180	0.160	0.175

a en fonte : les autres en tôle ou cuivre. *b* chaque longeron se compose de deux flasques de tôle avec bande de bois intermédiaire, épaisse de 0m.07 à 0m.08. *c* un seul ressort transversal pour les deux roues d'arrière. *d* même ressort que le précédent, lequel est commun aux 2e et 3e essieux.

(1) La machine n° 11 contient un 4e ressort de 1m.00 de longueur, 0m.090 de largeur, et 0m.144 de hauteur au milieu

DÉTAILS.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	NUMÉRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	CHEMIN	Versailles.	Havre.	Lyon.	Midi.	Nord.	Lyon.	Orléans.	Bourbonn.	Orléans.	Midi.	Nord	Nord.
	SERVICE	Voyageurs.	Voyageurs.	Voyageurs.	Voyageurs.	Crampton.	Mixte.	Marchand.	Marchand.	Gares.	Engerth.	Engerth.	Engerth mixtes.
	DATE de la construction.	1840	1845	1856	1856	1849	1849	1855	1857	1856	1855	1856	1857
3e essieu (1).	Diamètre de la fusée	m 0.187	m 0.188	m 0.160	m 0.180	m 0.180	m 0.130	m 0.110	m 0.180	m 0.140	m 0.180	m 0.200	m 0
	Longueur de la fusée	0.150	0.178	0.180	0.240	0.260	0.150	0.230	0.250	0.140	0.240	0.250	0
	Diam. à la portée de calage	0.127	0.127	0.180	0.190	0.210	0.150	0.176	0.195	0.140	0.200	0.230	0
	Diamètre au milieu	0.108	0.108	0.145	0.165	0.172	0.125	0.145	0.170	0.145	0.180	0.190	0
Écartement intérieur des roues		1.360	1.365	1.360	1.365	1.355	1.360	1.365	1.360	1.365	1.365	1.355 / a1.365	1.355
Écartement intérieur des rails de la voie		1.440	1.450	1.450	1.447	1.445	1.450	1.450	1.450	1.450	1.447	1.445	1.445
Écartement des essieux fixes	extrêmes	3.444	3.658	4.490	4.700	4.860	4.230	3.520	3.370	2.600	4.700	3.950	2.700
	du 1er au 2e	1.824	1.778	2.280	2.280	2.300	2.215	1.990	1.970	1.400	2.280	1.300	2.700
	du 2e au 3e	1.620	1.880	2.210	2.420	2.560	2.015	1.530	1.400	1.200	2.420	1.300	0
	du 3e au 4e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.350	0
Bandages. Conicité 1/20.	Largeur	0.135	0.130	0.140	0.135	0.135	0.140	0.135	0.140	0.135	0.135	a0.130 / 0.135	0.135
	Épaisseur au milieu	0.040	0.040	0.055	0.055	0.055	0.050	0.0635	0.050	0.0635	0.055	0.055	0.055
	Saillie du boudin	0.025	0.030	0.040 / 0.035	0.032	0.032	0.030 / 0.040	0.030	0.040 / 0.035	0.030	0.032	0.032 / a0.025	0.032

Poids (en kilogrammes) :

Essieux.	Diamètre de la fusée	Cette machine (machine-tender) porte s... visionnement dans des baches	[illegible]	0.150	0.160	0.150	Même tender que pour les machines à voyageurs, ...	[illegible]	0.160	Même observation qu'à la 1re colo...	0.120	0.130	0.150
	Longueur de la fusée		0.139	0.240	0.180	0.240		0.200	0.240		0.210	0.230	0.240
	Diam. à la portée de calage		0.121	0.180	0.140	0.190		0.130	0.180		0.180	0.170	0.190
	Diamètre au milieu		0.100	0.140	0.120	0.145		0.115	0.140		0.145	0.130	0.145
Ressorts de suspension.	Longueur		0.970	0.700	1.000	1.000		0.980	0.966		0.900	1.000	0.900
	Largeur		0.090	0.090	0.070	0.090		0.075	0.090		0.090	0.090	0.075
	Hauteur au milieu		av. 0.09 / arr. 0.10	0.108	0.132	0.130		0.099	0.096		0.132	0.144	0.140
	Flèche sous charge		»	»	0.020	0		0.086	0.027		»	»	»
Bandages.	Largeur		0.127	0.140	0.140	0.135		0.135	0.140		0.135	0.135	*d* 0.130 / 0.135
	Épaisseur au milieu		0.050	0.060	0.050	0.055		0.0635	0.055		0.055	0.055	0.055
	Saillie du boudin		0.030	0.035	0.032	0.032		0.030	0.040		»	0.032	*d* 0.025 / 0.032
Poids d'un essieu monté			990	1550	»	1450		981	»		»	1202	*d* 1150 / 1180
Poids sur chaque essieu en ordre de marche.	1er (avant)		4770	8500	»	9600		8327	»		8737	10900	8200
	2e		5160	10000	»	9100		8327	»		10971	11600	8200
	3e		0	0	0	0		0	»		»	»	8700
Épaiss. de la tôle de la caisse à eau	Fond	0.007	0.005	0.006	0.005	0.008		0.005	0.005	»	0.005	0.006	0.006
	Dessus	0.006	0.003	0.004	0.004	0.004		0.004	0.004	»	0.005	0.006	0.008
	Pourtour	0.005	0.003	0.005	Int. 005 / Ext. 004	0.004		0.004	Int. 005 / Ext. 004	»	0.004	0.005	0.004
Longeron du châssis.	Hauteur	»	*e* Int. 0.22 / Ext. 0.29	0.300	*e* Int. 245 / Ext. 325	0.300		0.265	0.300	»	*f* 0.707	0.236	0.400
	Épaisseur	»	0.095	0.015	Int. 100 / Ext. 120	0.016		0.023	0.014	»	0.0105	0.026	0.020
Longueur totale du tender		»	4.250	6.070	5.800	5.770		5.743	5.940	»	5.000	»	»

(1) Le 4e essieu de la machine n° 14 a 0m.170 de diamètre de fusée, 0m.250 de longueur de fusée, 0m.200 de diamètre à la portée de calage et 0m.160 de diamètre au milieu. *a* cette dimension s'applique au 3e essieu. *b* machine et tender réunis. *c* les caisses à eau sont placées longitudinalement sur les côtés de la chaudière. *d* cette dimension s'applique à l'essieu du milieu. *e* longerons en bois. *f* châssis à double flasque.

810. *Machines-tenders.* **Extrait du cahier des charges pour fourniture de 30 machines mixtes portant leur eau et leur coke, M. E. Gouin, à la compagnie des chemins de fer du Midi.**

Les machines sont à bâtis intérieurs, cylindres extérieurs, distribution et alimentation extérieures; elles sont à six roues, dont les quatre d'arrière accouplées. L'eau et le coke placés dans une caisse particulière dont la plus grande partie se trouve à l'arrière de la boîte à feu.

Poids de la machine vide		27 400 kilog.
id. la machine et le tender remplis d'eau et de coke		35 000
id. de l'eau contenue dans la caisse du tender		3 600
id. du coke *id.* (remplie à ras)		1 000
Au départ.	Poids sur les roues d'avant	10 500
	id. du milieu	13 000
	id. d'arrière	11 500
Machin. pleine et tender vide.	Poids sur les roues d'avant	12 000
	id. du milieu	10 500
	id. d'arrière	8 000
Diamètre des roues accouplées (roues motrices)		1m,740
Écartement des roues d'avant aux roues du milieu		2 ,300
id. des roues du milieu aux roues d'arrière		2 ,400
id. total des roues d'avant aux roues d'arrière		4 ,700
Diamètre des cylindres		0 ,420
Course des pistons		0 ,560
Diamètre intérieur du corps cylindrique		1 ,256
Surface de chauffe directe, ou de la boîte à feu		7 ,150
Surface de chauffe des tubes		91 ,000
Surface de chauffe totale		98 ,150
Longueur des tubes		3 ,500
Diamètre extérieur des tubes		0 ,050
Nombre de tubes		180
Longueur moyenne du foyer		1 ,250
Largeur moyenne du foyer		1 ,036
Hauteur du dessus de la grille au ciel du foyer		1 ,500

Les trente machines seront rigoureusement identiques entre elles; une pièce quelconque devra pouvoir s'adapter indistinctement à l'une des trente machines, sans qu'il soit nécessaire d'y retoucher en aucune manière.

Tous les écrous en fer forgé susceptibles d'être souvent manœuvrés seront cémentés et trempés à l'extérieur.

Les roues seront entièrement en fer forgé, y compris le moyeu; le fer employé pour la construction de la roue proprement dite devra provenir de fonte au bois de bonne qualité.

Les moyeux seront composés de la réunion de tous les rayons et de deux galettes ou plateaux, l'un intérieur, l'autre extérieur; ils pourront aussi, si le constructeur dispose de moyens assez puissants, être obtenus au pilon d'un seul paquet de fer avec les amorces des rayons.

Le soudage par encolage ne pourra être employé pour souder les rayons sur la jante; les différentes parties de la jante elle-même seront soudées au moyen de coins.

Le diamètre de la jante des roues couplées après tournage, pour application de bandages, est fixé à la cote rigoureuse de 1m,630; le diamètre de roulement de ces roues sera de 1m,740.

Pour les roues d'avant, le diamètre de la jante tournée est fixé à la cote rigoureuse de 0m,9.., ce qui donne 1m,10 pour le diamètre de roulement.

Les bandages seront montés sur les roues avec un serrage de 0m,0015 pour les roues accouplées, et de 0m,001 pour les roues d'avant.

Les manivelles des essieux accouplés seront disposées de manière que la manivelle de gauche étant verticale et au-dessus de l'essieu, la manivelle de droite soit horizontale et en avant.

Les essieux ne devront présenter aucun raccordement à vives arêtes.

alage seront eux-mêmes raccordés par des congés ayant pour rayons la saillie

nt martelées à petits coups avec des marteaux pesant au plus 500 grammes, rtie frottante; cette opération devra précéder un dernier coup de plane destiné les bosses que laissera le marteau.
accouplement seront en fer cémenté et trempé.
roues sur les essieux et des boutons de manivelles sur les roues sera fait à la ie, et l'on devra, tout en prenant les précautions d'usage, employer une pour les faire entrer, de 40 000 kilog. pour les roues, et de 20 000 kilog. Tout calage qui serait obtenu par des pressions moindres serait un motif de ontées.
térieur des bandages sera rigoureusement de $1^m,360$ pour les roues extrêmes, les roues du milieu.
r les essieux sera fait au moyen d'une clef en acier ordinaire, de $0^m,050$ de de hauteur.
ls à placer sur les roues pour équilibrer les pièces mobiles seront calculés de M. Le Chatelier, en plaçant les masses le plus près possible de la cir-oue, dans le but de diminuer les poids.
seront montés sans aucun jeu sur les fusées et seront en bronze de 82 de 'étain.
ge des boîtes à graisse, le constructeur devra laisser entre la plaque de garde se un jeu de $0^m,03$ en dessus et de $0^m,03$ en dessous, pour les oscillations

des essieux ne pourra, dans aucun cas, être obtenu par des inégalités d'épais-glissières, soit dans les boites; les boites seront d'ailleurs parfaitement symé-rt à l'axe des essieux.
les boites à graisse seront en fonte, rivées après les longerons.
atre systèmes de glissières des roues couplées portera un coin de serrage. Ce imenté et trempé.
spension seront attachées à des oreilles en fer forgé, fixées aux longerons.
ge de ces tiges, en approchant du corps lisse, on aura soin de diminuer gra-fondeur du filet dans le but de rendre ces tiges moins sujettes à rupture.
tiges de suspension sera cémentée et trempée, ainsi que les boulons d'arti-

suspension seront en acier fondu, de $0^m,090$ de largeur; la distance des sion sera de $0^m,65$ pour les ressorts des roues extrêmes, et de $1^m,00$ pour les

lles d'un même ressort seront rigoureusement cintrées sur le même rayon

1000 kilog. de charge sera à peu près la même pour les ressorts d'avant et eindra approximativement $0^m,005$.
ts du milieu, la flexion par 1000 kilog. de charge sera d'environ 10 milli-

les bâtis seront en fer forgé, martelé et fini au laminoir, et d'une seule pièce le garde.
vant sera en bois de chêne de choix, garnie d'une tôle d'armature de 0^m008 d'é-evra deux tampons en caoutchouc à quatre rondelles, et un crochet à trois tchouc, avec tendeur.
rrière, en bois de chêne armé d'une tôle, portera des tampons en caoutchouc un crochet d'attelage à cinq rondelles en caoutchouc, avec tendeur et deux

era de même système que celles des dernières machines Crampton, livrées à chemins de fer du Nord par M. Cail; l'épaisseur de la tôle sera de $0^m,011$.
drique aura $1^m,256$ de diamètre intérieur et contiendra 180 tubes de $3^m,50$ de rs en dehors des deux plaques tubulaires.
la chaudière sera enveloppé de douves en bois de chêne de 16 millimètres mblées à rainures et languettes. Ces douves seront recouvertes de feuilles de illimètre d'épaisseur, retenues par des cercles en tôle.
peur sera celle des machines Crampton, en élevant, autant que possible, le n faisant le joint contre la boite du régulateur.
ront être garnies de bords relevés, pour s'opposer le plus efficacement possible de l'eau.
échauffeurs, de vidange, de retenue, des manomètres, seront conformes aux

dessins remis aux constructeurs. Tous les boisseaux de robinets s
cuivre pour 14 d'étain, et les clefs, les écrous, les rondelles, en bro
10 d'étain.

La machine sera garnie d'un manomètre métallique à diaphragm
cuvette des soupapes portera un raccord semblable à celui employé
liers de la compagnie du Nord.

Les tubes seront en laiton, avec soudure ou sans soudure, ils
sur $0^m,050$ de diamètre extérieur, et pèseront $3^k,09$ par mètre couran
essayés à la presse hydraulique, à la pression de quarante atmos
de $0^m,065$ d'axe en axe ; il n'y aura des viroles que dans la boite à
de $0^m,0025$ d'épaisseur; elles présenteront, comme les trous des pl
cité de 1/40.

La cheminée ne pourra présenter aucune partie s'élevant au delà d
elle sera garnie, du côté gauche, d'une prise d'air pour modérer le
en forme de 8, portant d'un coté une plaque, et de l'autre une gr
mèches.

Le pavillon du haut sera en cuivre rouge de $0^m,002$ d'épaisseur, et
bonne tôle puddlée de $0^m,004$.

Les cylindres seront en fonte grise dure, à grain serré; ils devr
parfaitement rabotées dans les parties par lesquelles ils s'assembler
soit avec l'appendice de la boîte à fumée.

La masselotte de fusion sera au moins de $0^m,40$ de hauteur pour
de la fonte.

Les tables des tiroirs seront rapportées, afin de faciliter les ré
bronze de 80 de cuivre pour 20 d'étain.

Les couvercles seront disposés de manière que le piston étant arri
y ait un jeu absolu de $0^m,006$ en avant et $0^m,008$ en arrière.

Pour vérifier en service le maintien rigoureux de ce jeu aux fin
des fonds de cylindres sera portée sur les glissières par un trait pa
respondance avec un trait semblable sur l'axe transversal des coulis

Les tiges des pistons seront en acier fondu, les clavettes et les re
acier fondu.

Les têtes de pistons seront en fer cémenté et trempé; elles sero
rapportés en fonte de même nature que celles des cylindres, et mon

Le boulon de connexion de la tête de bielle à la tête de piston est

Les glissières des têtes de pistons seront en acier fondu; elles s
couvercles des cylindres, et de l'autre au support évidé, qui reçoit e
et l'axe de la pièce de suspension des tiges de tiroirs.

Chaque glissière supérieure portera deux godets graisseurs.

Le système de clavetage des bielles d'accouplement est disposé de
égal des clavettes ne change pas la longueur des bielles.

Les têtes de bielles motrices et d'accouplement, le bouton de
clavettes seront cémentés et trempés en paquet.

Tous les tourillons et boulons d'articulation du mécanisme de tr
aux tiroirs seront cémentés et trempés, de même que l'axe de rotation
la pièce.

La coulisse et les coulisseaux de détente variable seront égal
trempé.

Les œils de barres d'excentriques, ceux de la pièce de suspension
tiges de suspension des coulisses, seront garnis de bagues en fe
bagues seront posées à chaud, avec beaucoup de soin, trempées imm

Les colliers d'excentriques seront en bronze de 84 de cuivre pour 1

Les pompes alimentaires et leurs chapelles seront en fonte douce,

Les boulets et les sièges seront en bronze de 84 de cuivre pour 16

Tous les tuyaux d'aspiration et de refoulement seront en cuivre
seur; la croisure des pinces sera égale à quatre fois l'épaisseur du
essayés à la presse hydraulique, à une pression de 12 atmosphères,

Tous les raccords des tuyaux en général seront faits d'après les
teur; ils seront en laiton de 90 de cuivre pour 10 de zinc.

Il y aura deux tuyaux réchauffeurs, indépendants; ils seront éga
mais de $0^m,002$ d'épaisseur seulement; ils seront essayés à la pre
pose, avec une pression de 12 atmosphères.

sera toujours égale à quatre fois l'épaisseur.
les de la caisse à eau et à coke proprement dite, excepté celles des fonds supé-
eur, auront 0m,003 d'épaisseur, celle du fond supérieur aura 0m,005, celle du
0m,004.
neaux cintrés entrant dans la composition de la caisse à eau et à coke, ainsi que
caissons, seront en bonne tôle provenant de fonte au bois.
arties de la caisse pourront être en tôle puddlée provenant de fonte au coke.
ornières proviendront de fonte au bois et seront de la meilleure qualité.
t des rivets sera de centre en centre de 0m,03, et le diamètre du rivet employé

définitive ne se fera qu'après un parcours effectué de six mille kilomètres en
ire, lequel devra être fait dans un délai de quatre mois, sauf le cas de grandes
cessitées par des vices de construction ou de matières.

ids des machines locomotives. Pour des machines à 6 roues
geurs, le poids de 21 tonnes, y compris le poids de l'eau et
araît convenable ; l'essieu d'arrière, ou celui du milieu si
motrices sont à l'arrière, ne porte que 5 tonnes, celui d'avant
t celui moteur 9 tonnes, y compris le poids des roues elles-
poids des rails est supposé de 37 à 38 kil., et le nombre
ses 4 pour une longueur de 4m,50. Pour le même chemin,
nes à marchandises peuvent peser 22 à 23 tonnes ou 25 à
selon qu'elles sont à 4 ou à 6 roues accouplées, et que la
également répartie sur les deux essieux principaux dans
cas, et à peu près uniformément répartie dans le second.
nes peuvent encore voyager sur des rails de 30 kilog.; mais
s de cette limite il faudrait ajouter une 5e traverse par rail.
nes récentes, système Engerth, pèsent jusqu'à 64 tonnes;
ids est réparti de manière que la charge de chaque paire
e dépasse pas sensiblement 12 tonnes (page 714).
hines construites par M. Buddicom pour divers chemins,
tres celui du Havre, ne pèsent pas vides plus de 14850 kilog.
ers doivent être aussi légers que possible; ceux du chemin
pouvant contenir 3500 litres d'eau et une tonne de coke,
pas vides plus de 4 tonnes.
chine-tender, dont le poids serait à peu près uniformément
r les trois essieux pourrait peser jusqu'à 25 tonnes.

TABLEAU des poids des diverses matières contenues dans la
du chemin de fer du Nord, d'après MM. Valério et de

MATÉRIAUX.	CHASSIS et supports.	MÉCANISME.	CHAUDI
	k	k	
Fonte.	1237.0	2434.0	42.
Fer forgé.	4769.9	974.7	1625.
Tôle	1322.5	»	2995.
Acier.	440.0	150.5	15.
Cuivre rouge.	»	124.0	786.
Laiton	6.0	3.6	1437.
Bronze.	81.6	405.6	258.
Bois et divers.	335.5	17.5	138.
Totaux. . . .	8192.5	4109.9	7299.

TABLEAU des poids des matières brutes employées à la con
40 machines à marchandises construites dans les ateliers du c
léans, par M. C. Polonceau, et désignée sous le n° 7 du tablea
du poids des pièces ajustées.

MATIÈRES employées.	FOYER.	TUBES.	CHAUDRONN.	MOUVEMENT.	ROUES et essieux.	CHASSIS.	TOTA et net
			Poids brut des matières.				
	k	k	k	k	k	k	
Cornières. . .	15.00	0.00	495.25	0.00	290.90	203.10	0
Fer.	1357.00	31.00	428.50	3083.85	6253.70	3822.45	407
Acier.	0.00	0.00	0.00	372.80	6.75	401.00	4
Bronze	1.00	0.00	0.00	482.84	0 00	44.30	204
Cuivre	1464.77	0.00	0.00	1.00	0.00	0 00	142
Laiton.. . . .	0.00	2534.00	26.60	0.00	0.00	0.00	8.
Fonte.	233.73	0.00	22.90	3640.75	65.80	410.22	96.
Tôles.	4.00	0.00	5686.20	37.50	0 00	777.10	32.
Bois..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	106.30	1.
Totaux. .	3075.50	2565.00	6659.45	7618.74	6616.25	5764.47	596.
			Poids des pièces ajustées.				
Cornières. . .	10.00	0.00	388.55	0.00	262.50	165.00	0.0
Fer.	1196.30	34.00	321.50	1895.06	5319.20	1932.10	71.3
Acier.	0.00	0.00	0.00	288.95	6.00	401.00	4.0
Bronze	0.70	0.00	0.00	340.80	0.00	34.00	197.3
Cuivre	1290.27	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	113.0
Laiton.. . . .	0.00	2499.00	25.00	0.00	0.00	0.00	7.7
Fonte.	208.03	0.00	19.40	3185.40	49.00	325.00	87.6
Tôles.	3.00	0.00	5034.00	24.80	0.00	566.50	28.5
Bois..	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	106.30	1.00
Totaux. .	2708.30	2530.00	5788.45	5735.91	5636.70	3529.90	510.75

Prix des machines locomotives. Le prix le plus habituel des
es locomotives varie de 2 fr. à 2 fr. 10 le kilog.

U du prix des locomotives et tenders (Traité élémentaire des chemins de fer, par M. Perdonnet).

motive à voyageurs, système Stephenson.	52 000 fr.
Id. à 4 roues accouplées (au commencement de 1852). .	41 950
Id. *id.* (fin de 1852).	49 500
Id. à marchandises (du poids de 24 tonnes).	53 000
Id. Crampton (au commencement de 1852).	52 000
Id. *id.* (1856).	66 000
Id. à marchandises (très-puiss. avec tender, modèle Sœmmering).	115 000
Id. modèle Engerth.	107 000
motive-tender pour le service des gares (501 et 510). . . .	40 000
ler de la machine Stephenson contenant 5ᵉ d'eau, pesant 8 300 k.	10 800
I. *id.* Crampton cont. 6ᵉ d'eau, pesant 10 000 k. .	13 000

des 40 machines à marchandises du chemin d'Orléans (514) s'est divisé de suivante (le poids de chaque machine étant 27 047^{k},11 et son prix de re- 84^{f},91, le prix du kilog. est 2^{f},01) :

ES DE LA MACHINE.	MATIÈRES.	MAIN-D'ŒUVRE.	FRAIS GÉNÉRAUX, 50 p. 100 de la main-d'œuvre.	TOTAUX.
	fr.	fr.	fr.	fr.
. . . .	5658.32	688.34	344.17	6690.83
. . . .	8427 00	61.20	30.60	8518.80
nnerie.	6472.45	871.82	435.91	7780.18
ent.	5168.24	3950.61	1975.30	11094.15
t essieux	8609.56	525.10	262.55	9397.21
. . . .	3349 60	1711.47	855.73	5916.80
rie et robineterie. .	1963.77	273.80	136.90	2374.47
e.	»	1395.00	»	1395.00
et peinture	430.92	295 78	147.89	874.59
modèles.	11.98	90.90	»	102.88
e des machines. . .	240.00	»	»	240.00
Totaux.	40331.84	9864.02	4189.05	54384.91

ut estimer qu'une machine de 50000 fr. sans son tender, oc- e, par son remplacement ou sa reconstruction à neuf, une environ 30000 fr., déduction faite de la valeur des vieux ma- vendus ou rentrant dans la construction nouvelle.

Parcours des locomotives. Aujourd'hui on ne craint pas, dans s cas, de faire parcourir aux locomotives 150 à 200 et même m. sans autre temps de repos que les arrêts aux stations, il y a quelques années, cette limite semblait devoir être fixée ilom.

En 1848 et 1849, le parcours moyen annuel des locomotives var de 14000 à 22000 kilom., pour des chemins de fer de peu d'étendue aujourd'hui, sur nos grandes lignes, il est habituellement comp entre 24000 à 28000 kilom. (page 732). La limite du parcours des lo motives, avant qu'il soit nécessaire de les remplacer ou de les construire à neuf, paraît être supérieure à 300000 kilom. Les loco tives Crampton livrées en 1849 au chemin de fer du Nord av parcouru en moyenne 400000 kilom. à la fin de 1858, et elles av encore toutes leurs principales pièces originaires; l'une d'elles même parcouru 462000 kilom.

514. *Alimentation de la chaudière et du foyer. Graissage.* Ch machine est munie de deux pompes alimentaires dont chacune capable de fournir autant et plus d'eau qu'en exige la vaporisa afin que le mécanicien ait la faculté de maintenir à un point co nable le niveau de l'eau dans la chaudière (507 et 509). Un ro permet de régler l'arrivée de l'eau aux pompes.

Un tube en verre placé en arrière, sur la boîte à feu, indique veau de l'eau. De l'eau seule devrait s'échapper en ouvrant le ro indicateur placé le plus bas, c'est-à-dire à $0^m,025$ ou $0^m,030$ au-d du sommet de la boîte à feu. Le robinet du milieu devrait don l'eau seule pendant la marche, et de l'eau mélangée de vapeur les moments d'arrêt.

La consommation d'eau augmente avec la vitesse, non-seul parce que la puissance de vaporisation augmente, mais aussi à de la plus grande quantité d'eau entraînée mécaniquement.

Des expériences faites en Angleterre ont donné les résultats vants :

1re *Expérience.*

Poids de la machine.	21 678 kilog.
Id. du tender.	13253
Charge totale.	136795

L'espace parcouru ayant été de 56 717 mètres en une heure, et les rampes sur une partie du parcours, la dépense d'eau a été de 4 643 litres, 1l,29 conde.

2e *Expérience.*

Poids à remorquer	66 935 kilog.
Charge totale	401 tonnes.

A la vitesse de 58 kilom. à l'heure, la dépense d'eau a été de 5 460 litres, 1l, seconde.

Au retour, avec la même charge, la pente étant favorable au mouvement, la fut de 64 kilomètres, et la quantité d'eau consommée en 36 minutes fut de 2 tres, 1l,36 par seconde.

3e *Expérience.*

La charge totale est réduite à 72 tonnes.

La vitesse obtenue a été de 69 kilom. à l'heure, et la quantité d'eau dépensée dans le même temps fut de 5 380 litres, 1l,494 par seconde.

Dimensions de la machine qui a servi à faire ces expériences.

	m
Diamètre des cylindres	0,38
Course des pistons	0,56
Diamètre des roues motrices	1,676
Surface de chauffe par la boîte à feu	4,62
Surface de chauffe par les tubes	68,56

le chemin de Liverpool à Manchester, où les machines ont des sions moindres, la consommation d'eau est en moyenne de itres par heure, 0^l,786 par seconde, à des vitesses de 61 à 63 ki-es.

portions des machines à voyageurs sur ce chemin.

	m
Diamètre des cylindres	0,305
Course des pistons	0,457
Diamètre des roues motrices	1,523
Surface de chauffe par la boîte à feu	4,46
Surface de chauffe par les tubes	42,55

dimensions des machines à marchandises ne diffèrent de ces res qu'en ce que le diamètre des cylindres est de 0^m,33, et la des pistons 0^m,508. Ces machines à marchandises sont toutes ndres intérieurs, et les deux paires de roues de devant sont ac-ées.

mentation du foyer. Le chemin de Liverpool à Manchester est eau sur presque toute sa longueur; la plus forte pente est de our une longueur de 6400 mètres. La charge des trains de voya-est de 35 tonnes, et celle des trains de marchandises de onnes; mais on fait souvent usage de deux machines pour re-quer des trains de marchandises de 200 et jusqu'à 240 tonnes. La ommation de combustible sur ce chemin n'est que de 4^k,6 à 5^k,06 ilomètre pour les trains de voyageurs, et de 6^k,95 pour les trains archandises; dans l'un et l'autre cas, la consommation est beau-plus élevée sur les autres lignes. La consommation de coke est uellement aujourd'hui de 7 à 9 kilog.

TABLEAU des allocations de combustible, par kilomètre, [cut off] *le chemin de fer du Nord, où la qualité du coke et de* [cut off] (Guide du mécanicien).

MACHINES.	COMBUST.
A voyageurs, selon le type (le nombre des voitures étant 12 dans un cas et 15 dans l'autre).	Coke.
Mixtes, avec au plus 18 voitures.	*id.*
Crampton, avec au plus 12 voitures..	*id.*
Mixtes-Engerth, avec 18 voitures au plus. . .	*id.*
A marchandises, selon le type.	Houille.
A marchandises-Engerth.	*id.*

Pour les trains de voyageurs il est accordé, en outre des [cut off] supplément de $1^k,50$ pour les trains ayant de 1 à 3 voiture[cut off] sus, et de $3^k,00$ si l'excédant est de 4 voitures et au delà.

Il est alloué aux machines de réserve 250 kilog. pour l'[cut off] heure de réserve.

Les machines allant à vide ont droit par kilom. à $4^k.50$ o[cut off] à voyageurs ou à marchandises.

La prime est fixée, pour le coke ou la houille à 6 fr. par t[cut off] dant de consommation donne lieu, s'il n'est justifié, à une [cut off] pour le mécanicien et $0^f,33$ pour le chauffeur.

Au chemin de l'Est, où l'on fait usage de co[cut off] ment médiocres, venant de la Prusse, les alloca[cut off] qu'au chemin du Nord d'environ 1/6 pour l[cut off] houille.

Des expériences faites par M. Stephenson ont [cut off] pour faire mouvoir une machine et son tender [cut off] de 48 à 50 kilomètres, il faut autant de coke qu[cut off] une charge de 15 voitures, c'est-à-dire que la c[cut off] machine et le tender, sans charge additionnelle [cut off] qui a lieu lorsque 15 voitures sont ajoutées à l[cut off]

L'alimentation du foyer doit être aussi régul[cut off] faite de manière que le combustible soit en co[cut off] quand la dépense de vapeur doit être augment[cut off] le niveau de l'eau est élevé dans la chaudière [cut off] primer l'action des pompes, que la vapeur s'écl[cut off] les soupapes et que la machine voyage à une b[cut off]

L'intervalle de deux chargements successifs [cut off] Dans les pentes considérables et pour de fortes [cut off] menter tous les 3 à 4 kilomètres; dans les ca[cut off] parcourir 24 à 25 kilomètres.

Le coke est mis au feu par le chauffeur à l'[cut off]

ıt la chaîne de la porte du foyer pour refermer cette porte que le chauffeur charge sa pelle. Celle-ci doit être bien rem- e coke distribué également sur le foyer.

age. Au chemin de fer du Nord, les allocations des matières ıtes reviennent, par 100 kilom. :

Locomotive ordinaire à voyageurs.			2f,60
Id.	*id.*	Crampton.	3 ,00
Id.	à marchandises	1er type.	3 ,00
Id.	*id.*	2e type.	4 ,00
Id.	*id.*	3e type (Engerth)	5 ,00

ımière allocation de 2f.60 se divise en :

0k,80 d'huile à 1f,40 le kilog.	1f,12
0 ,80 de suif à 1 ,40 *id.*	1 ,12
0 ,60 de graisse dure.	0 ,36
2 ,20	2 ,60

ʟe tableau suivant donne les *pertes de pression, en centimètres ɛur d'eau, produites dans le foyer et dans la boîte à fumée,* ı machines du chemin de fer du Nord, fonctionnant dans les ns ordinaires du service (321).

NOMBRE de voitures	OUVERTURE DU TUYAU D'ÉCHAPPEMENT en centimètres carrés. 110 à 90 — Boîte à fumée.	110 à 90 — Foyer.	90 à 70 — Boîte à fumée.	90 à 70 — Foyer.	70 à 50 — Boîte à fumée.	70 à 50 — Foyer.	OBSERVATIONS.
11 / 12	8.05	5.05	8.72	6.36	14.90	9.75	Machine à voyageurs, système Stephenson.
10 / 16	11.14	6.24	16.00	10.33	18.25	11.80	Machine à voyageurs, système Clapeyron.
33	9.62	6.70	10.10	6.9	12.40	8.54	Machine à marchandises.
	240 à 240 — Boîte à fumée.	240 à 240 — Foyer.	140 à 100 — Boîte à fumée.	140 à 100 — Foyer.			
12	6.25	4.18	6.57	4.35			Machine Crampton.

516. *TABLEAU des dimensions principales de quelques machines locomobiles* (410) (extrait du *Traité des machines à vapeur* de M. Gaudry).

CONSTRUCTEURS.	Force nominale.	Pression dans la chaudière.	Détente (391).	PISTON.			TUBES.			Surface totale de chauffe.	GRILLE.		CHEMINÉE.		Nombre de roues.	Poids total, vide.	Prix.
				Diamètre.	Course.	Tours par seconde.	Nombre.	Longueur.	Diamètre intérieur.		Longueur.	Largeur.	Diamètre.	Hauteur.			
Flaud, à Paris	chev. 2	atm. 5	0.5	m 0.10	m 0.12	»	(Chaudière cylindrique)			m.c. 2.25	(Diamètre 0m.65)		m »	m »	2	kil. 900	fr. 2500
Nepveu, à Paris	3	5	0.7	0.14	0.20	80	»	m »	m »	5.40	m 0.35	m 0.55	0.18	3.00	2	1200	4500
Cumming, à Orléans	3	6	0.9	0.12	0.20	150	37	1.00	0.05	6.50	0.50	0.60	»	»	2	1715	4000
Renaud et A. Lotz, à Nantes	4	5	»	0.145	0.29	130	»	»	»	6.40	0.35	0.75	0.22	3.00	2	2300	4000
Rouffet, à Paris	4	5	0.33	0.65	0.30	80	12	1.83	0.06	5.30	»	»	»	»	4	2100	»
Lotz aîné, à Nantes	5	5	0.75	0.18	0.25	145	22	0.70	0.045	»	0.70	0.46	»	»	4	2300	4500
Calla, à Paris	6	6	»	0.15	0.30	120	»	»	»	»	»	»	0.205	3.04	4	2800	6500
Ramsome et Sims, à Ipswich	7	3.5	»	0.18	0.25	»	»	»	»	9.10	0.40	0.60	0.25	3.00	4	»	»

. *Dispositions relatives à l'emploi des machines à vapeur locomo-*
t locomotives. (Extrait des ordonnances des 22 et 23 mai 1843.)

Machines locomobiles. **Sont considérées comme locomobiles les nes à vapeur qui, pouvant être transportées facilement d'un ns un autre, n'exigent aucune construction pour fonctionner que station.**

chaudières et autres pièces de ces machines sont soumises aux res et aux conditions de sûreté prescrites pour les machines n° 335, 336, 337, 339, 340 et 341), sauf les exceptions suivantes, celles de ces chaudières qui sont construites suivant un sys- tubulaire :

sdites chaudières peuvent être éprouvées sous la pression double seulement de ion effective;

1 peut, quelle que soit la tension de la vapeur dans ces chaudières, remplacer mètre à air libre par un manomètre à air comprimé, ou même par un thermo- ètre, c'est-à-dire par un thermomètre gradué en atmosphères et parties déci- 'atmosphère : les indicateurs de ces instruments devront être parfaitement lisi- en vue du chauffeur;

1 peut se dispenser d'adapter auxdites chaudières un flotteur d'alarme, et il suf- elles soient munies d'un tube indicateur en verre convenablement placé.

épendamment des timbres relatifs aux conditions de sûreté toute locomobile reçoit une plaque portant le nom du proprié-

une locomobile ne peut fonctionner à moins de 100 mètres de ce de tout bâtiment sans une autorisation spéciale donnée par ire de la commune. En cas de refus, la partie intéressée peut rvoir devant le préfet.

emploi d'une machine locomobile présente des dangers, soit qu'il n'aurait point été satisfait aux conditions de sûreté pres- ci-dessus, soit parce que la machine n'aurait pas été entretenue n état de service, le préfet, sur le rapport de l'ingénieur des , ou, à son défaut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, peut ndre ou même interdire l'usage de cette machine.

Machines locomotives. Les machines à vapeur locomotives sont qui, en se déplaçant par leur propre force, servent au transport oyageurs, des marchandises ou des matériaux.

mme pour les machines locomobiles, les dispositions pour les ines fixes des n° 335, 336, 337, 339, 340 et 341, sont applicables haudières et autres pièces de ces machines, sauf l'exception nte :

soupapes de sûreté des machines locomotives peuvent être char- au moyen de ressorts disposés de manière à faire connaître, en

kilogrammes et en fractions décimales de kilogramme, la pressi... qu'ils exercent sur les soupapes.

Aucune machine locomotive ne peut être mise en service sans ... permis de circulation délivré par le préfet du département où ... trouve le point de départ de la locomotive.

La demande du permis contient les indications comprises sous ... 1° et 3° de la demande en autorisation des machines fixes (338), et ... connaître de plus le nom donné à la machine locomotive et le servi... auquel elle est destinée.

Le nom de la locomotive est gravé sur une plaque fixée à la ch... dière.

Le préfet, après avoir pris l'avis de l'ingénieur des mines, ou ... son défaut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, délivre, s'il y a li... le permis de circulation.

Dans ce permis sont énoncés :

1° Le nom de la locomotive et le service auquel elle est destinée;
2° La pression maximum (en nombre d'atmosphères) de la vapeur dans la ... dière, et les numéros des timbres dont la chaudière et les cylindres auront été ...
3° Le diamètre des soupapes de sûreté;
4° La capacité de la chaudière;
5° Le diamètre des cylindres et la course des pistons;
6° Enfin, le nom du fabricant et l'année de la construction.

Si une machine locomotive ne satisfait pas aux conditions de s... ci-dessus prescrites, ou si elle n'est pas entretenue en bon état de ... vice, le préfet, sur le rapport de l'ingénieur des mines, ou, à son ... faut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, peut en suspendr... même en interdire l'usage.

Les conditions auxquelles est assujettie la circulation des loco... tives et des convois, en tout ce qui peut concerner la sûreté publi... sont déterminées par arrêtés du préfet du département où est ... le lieu du départ, après avoir entendu les entrepreneurs, et en ... égard tant au cahier des charges des entreprises qu'aux disposi... des règlements d'administration publique concernant les chemi... fer.

FRAIS DE CONSTRUCTION ET D'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER.

818. *Considérations pécuniaires sur l'établissement d'un chemi... fer.* Lors de l'établissement d'un chemin de fer, on doit considé...

1° Les frais de construction, représentés dans les frais d'exploitation par l'intér... capital;
2° Les frais d'entretien du chemin;
3° Les frais de traction;
4° Les frais généraux.

ris pour la voie et le matériel d'un chemin de fer (520 et
s. Les avant-projets envoyés à l'administration des ponts
s pour accompagner une demande en concession se com-

général à l'échelle de 1 à 10 000;
l en longueur à l'échelle de 1 à 10 000 pour les longueurs et de 1 à 500
ur les hauteurs;
er de profils en travers de 1 à 200 pour les longueurs et les hauteurs;
au du calcul des terrassements;
au des ouvrages d'art avec types de ces ouvrages;
l estimatif du projet;
ort à l'appui.

nse pour l'établissement de ces avant-projets est d'environ
kilomètre dans les circonstances ordinaires, et elle varie
200 fr. selon les difficultés.

hemin de Paris à Mulhouse, les études du projet définitif,
dent toujours plus de soin que celles de l'avant-projet,
ues à 1 400 fr. par kilom., y compris le piquetage de la
rnage et le creusement des fossés de limites.

pour le personnel des ingénieurs, conducteurs de tra-
eurs, etc., et pour le loyer de leurs bureaux, les fourni-
dépassent rarement 10 000 fr., en variant de 7 000 à 20 000
tre.

. La superficie occupé par kilomètre de chemin de fer est
e de 3.37 hectares, dont le prix de revient est 9 100 fr. par
30667 par kilom. de chemin.

d'art. Les dépenses en terrassements sont en moyenne, par
de 67 500 fr. en variant ordinairement de 35 000 fr. à

nses en ouvrages d'art courants s'élèvent en moyenne par
2 000 fr. en variant de 13 000 fr. à 29 000 fr.

chemin n'est qu'à une voie, les travaux d'art s'exécutent
voies; mais on peut diminuer de 1/5 environ la dépense
ments, qui devient alors en moyenne de 54 000 fr. par kilo-

des ouvrages d'art exceptionnels, grands ponts, viaducs,
sont pas compris dans les dépenses précédentes. Ces prix
te très-variables, en voici quelques-uns :

pont de Nogent-sur-Marne et les deux viaducs entre uels il est compris, d'une longueur totale d'envi- 800m.	5 500 000 fr.
c de la Voulzie, près de Provins; longueur 486m, hau- 17m, profondeur des fondations dans la tourbe 15m. .	2 200 000
viaduc de Chaumont; longueur 600m, hauteur maxi- 53m, exécutée en moins d'une année avec une exces- rapidité.	5 600 000

Viaduc de l'Indre, ligne de Tours à Bordeaux ; longueur 754m, hauteur 22m, plus de. 2 000 000
Grand pont sur la Durance (ligne de Marseille à Avignon) ; longueur 533m. 3 000 000
Grand pont sur le Rhône, longueur 386m. 6 000 000

De documents recueillis par M. Perdonnet, il résulte :

1° Que des viaducs de 15 à 20 mètres de hauteur coûtent ordinairement de 1[illegible] à 150 fr. le mètre superficiel, fondations non comprises, et les viaducs très-[illegible] de 150 à 250 fr.;

2° Que des souterrains pris dans les conditions les plus favorables des chemins [illegible] varois, pour les chemins à une voie, ont coûté de 250 à 300 fr. le mètre courant,

3° Que des souterrains beaucoup plus longs, dans de bons terrains, pour le pas[illegible] des chemins à deux voies, ont coûté de 500 à 1 000 fr. le mètre courant;

4° Que des souterrains longs de 500 à 3000 mètres, dans des terrains médiocres [illegible] difficiles, pour des chemins à deux voies, ont coûté de 1 000 à 1 500 fr.;

5° Que des souterrains ouverts pour le passage à deux voies dans les conditions plus difficiles (Blaisy, Chézy) ont coûté 2 300 à 2 450 fr.

Clôtures et maisons de garde. En 1854 pour le chemin de Mulh[illegible] les clôtures à trois lisses ont coûté 0f,45 le mètre courant, et celle[illegible] échalas 0f,75 ; soit le double par mètre courant de chemin. La dé[illegible] pour les haies vives est de 0f,80, y compris l'entretien pendant [illegible] soit 1f,60 par mètre courant de chemin. Ainsi c'est largement comp[illegible] que d'admettre pour les clôtures 3 fr. par mètre de chemin.

Les maisons de garde coûtent environ 3500 fr. l'une, en en co[illegible] tant en moyenne 0,64 par kilom. elles donnent donc lieu à une [illegible] pense de 2240 fr.

Les passages à niveau coûtent environ 1200 fr. l'un.

Établissement de la voie. Pour le chemin de Strasbourg, M. [illegible] gner a divisé le prix de revient de la manière suivante :

Ballast ou fondation de la voie, 2m,20 de sable, gravier ou cailloux, à 3 fr. 60 c. le mètre cube.	fr. [illegible]
0mc,10 de bois pour traverses, à 75 fr. le stère.	7,[illegible]
75 kilog. de fer pour rails, à 360 fr. la tonne rendue sur la ligne. . .	27,[illegible]
20 kilog. de fonte pour coussinets, à 260 fr. la tonne rendue sur la ligne.	5,[illegible]
1,05 kilog. de chevillettes, à 48 centimes.	0,[illegible]
1,8 coins, à 17f,50 le cent.	0,[illegible]
Déplacement de matériaux dans les chantiers de réception, etc.	1,[illegible]
Déplacement des chantiers à pied d'œuvre et pose.	2,[illegible]
Frais généraux pour prime dans les usines.	0,[illegible]
Total pour une simple voie. . . .	52,[illegible]
Et pour une double voie.	105,[illegible]

Il faut compter en outre pour voies accessoires dans les stations :

Les gares d'évitement, etc., 1/20 en sus.	5 fr. 25 c.	11,0[illegible]
Changements et croisements de voies.	2 75	
Plates-formes tournantes.	3 00	
Total.		116,0[illegible]

La longueur développée des voies accessoires dans les gar[illegible]

variable. Sur le chemin d'Orléans, elle n'était, dans l'origine, que iron 11 pour 100 de la longueur des voies principales ; aujour-, par suite de l'augmentation du trafic, elle en est les 0,33.

chemin de Strasbourg, on ne supposait pas, lorsqu'on fit le devis, le dût dépasser 10 pour 100 de la section de Paris à Nancy, et ır 100 pour la section de Nancy à Strasbourg; mais on considé-lors une recette de 16000000 fr. pour la ligne entière comme un mum, et cette recette a dépassé, en 1856, 37500000 fr.

diminue la dépense des voies de remisage en se servant, dans mises de wagons, de rails du poids de 15 à 20 kilog. au lieu de de 37 kilog.

cessoires de la voie. Les dépenses consacrées aux accessoires de ie varient généralement de 5 à 7 fr. par mètre sur les lignes à le voie. En France, la moyenne est de 5f.70, qui se divise comme : *plaques tournantes*, 57 pour 100, variant de 52 à 68 pour 100 ; *gements de voie*, 29 pour 100, variant de 20 à 37 p. 100 ; *signaux et outillage de la voie*, 14 pour 100, variant de 5 à 16 pour 100. ur un chemin à une voie, il faut compter pour les accessoires de ie sur 3f.15 par mètre courant de chemin.

s frais qu'entraîne l'*alimentation des machines* dépendent de la eur du niveau du chemin au-dessus de celui de l'eau, l'élévation elle-ci exigeant des machines plus ou moins puissantes, et des aux plus ou moins considérables. Pour une ligne dans des con-ns moyennes, 1 fr. par mètre peut être considéré comme bien sant.

construction des gares, pour le chemin de Mulhouse, où il n'y s de stations terminales proprement dites, où les stations d'une de importance sont rares, et où les stations sont en général assez gnées, est revenue de 12000 à 14000 fr. par kilom. de longueur hemin. Pour les chemins du Nord et de l'Est, où les stations sont rapprochées, plus grandes et où l'on trouve 2 magnifiques sta-s terminales et de vastes ateliers, ce prix a atteint 32000 fr.

: *mobilier des gares*, y compris l'*outillage des ateliers* (522), re-t à 2540 fr. par kilom. de chemin, et il est généralement com-entre 1500 et 3800 fr.

atériel roulant. 1° *Les locomotives et leurs tenders* forment un des les les plus importants du matériel d'exploitation. D'après l'im-ance présumée du chemin, et par comparaison à d'autres che-s établis, on peut déterminer approximativement le nombre des ois réguliers de voyageurs et de marchandises qui devront cir-r annuellement sur la ligne et la distance qu'ils devront par-ir, et en tenant compte des convois supplémentaires et des con-traînés par deux ou trois machines, on en conclura l'espace l parcouru par toutes les locomotives. Cet espace, divisé par le

parcours annuel des locomotives, donnera l
nières.

TABLEAU du parcours annuel des locomotives sur q

MACHINES.	NORD.	EST.	ROUEN.
	kilom.	kilom.	kilo
A voyageurs et mixtes.	26 290	28 575	18 319
A marchandises. . . .	30 223	37 900	34 510
Crampton (1).	46 250	52 375	»

(1) Il n'y a pas de Crampton sur les chemins de Rouen

D'après M. Perdonnet, il convient, pour ne p
sure le matériel, de ne pas faire parcourir aux
ordinaires et mixtes plus de 24 à 25 000 kilom
lées, aux trains, plus de 22 à 23 000 kilomètres
par jour dans le premier cas et 63 kilom. dan
Une locomotive en service faisant chaque jo
200 kilom., c'est-à-dire à peu près le triple du
sulte que deux machines sont en réparation
qu'une machine ne travaille que 4 mois dans l
Au lieu de déterminer le nombre des ma
nombre total des kilomètres parcouru penda
cours kilométrique annuel d'une machine, des
simplement que l'exploitation d'une ligne cons
exige l'emploi de 3 locomotives par myriamètre
est moins précis ; ainsi, en 1855, le chemin du N
chines pour 710 kilom. exploités, soit 4 mach
et celui de Strasbourg 248 machines pour 68
chines par myriamètre. Sur des chemins d'une
le nombre des machines par myriamètre est d
au-dessous; ainsi, au chemin de Montereau à
vice avec 16 machines pour 100 kilom., ce qui
myriamètre.

2° *Wagons*. Le nombre des wagons de toute
en suivant la même marche que pour les locom
tion du problème est beaucoup plus difficile, e
irrégularité du service des wagons, qui statio
longtemps dans les gares.

du parcours moyen annuel des véhicules de différentes espèces sur quelques chemins (Traité élémentaire des chemins de fer).

VÉHICULES.	NORD.	EST.	ROUEN.	ORLÉANS.	LYON.
	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.
itures de cérémonie. . . .	1261	»	»	»	
lons.	3095	»	»	»	
classe	44325	»	»	53727	56698
xtes.	27757	»	»	28785	
classe.	32194	»	»	33531	38599
classe.	22878	»	»	40406	47445
urgons à bagages.	51918	»	»	60045	66225
ırks à équipages.	9104	»	»	12568	19174
uries.	12198	»	»	19094	20654
gons à lait.	29643	»	»	26519	8979
gons-poste.	56506	»	»	»	»
Parcours moyen. . .	31375	37150	29470	38885	»
gons bergeries.	22131	»	»	18559	»
— à bois	13131	»	»	»	»
— à pierre	8268	»	»	»	»
— à bestiaux.	18017	»	»	34557	9493
— à coulisses.	25521	»	»	»	20823
— plats longs.	14166	»	»	18029	10682
— tombereaux.	19309	»	»	»	10820
— à sable.	5355	»	»	»	»
— à houille.	13593	»	»	»	»
— à coke.	6352	»	»	»	»
— plats divers	15259	»	»	»	»
— de secours.	448	»	»	»	»
— à plaques tournantes.	4873	»	»	»	»
— maringottes	»	»	»	26428	27656
— à farines.	»	»	»	11350	»
— à freins	»	»	»	»	24994
Parcours moyen. . .	14791	20000	20641	27539	»

agons à marchandises, le parcours a été d'autant plus grand que les dis-
ues de transport des marchandises à petite vitesse ont été plus grandes ;
ont été, pour une tonne de marchandises, de 161 kilom. sur le chemin
169 sur celui de l'Est et de 199 sur le réseau d'Orléans.

Composition moyenne d'un convoi à voyageurs.

VÉHICULES.	NORD.	EST.	ROUEN.	ORLÉANS.	LYON.
1re classe.	1.71	1.50	1.49	1.39	1.34
2e classe.	2.17	2.80	3.41	2.39	1.88
3e classe.	1.98	6.00	1.54	1.37	1.94
bagages	2.16	»	0.43	0.91	»
vers.	0.77	»	5.00	3.19	5.61
Total.	8.79	»	11.87	9.25	10.77

TABLEAU des places offertes et des places occupées par convoi.

VOITURES.	NORD.			EST.			[illegible]		
	Offertes.	Occupées.	Rapport.	Offertes.	Occupées.	Rapport.	Offertes.	Occupées.	[illegible]
1re classe. . . .	41.04	18.10	2.26	36	11	3.27	35.76	»	»
2e classe. . . .	65.40	22.35	2.91	84	18	4.67	102.30	»	»
3e classe. . . .	84.61	37.62	2.25	240	102	1.37	46.20	»	»
	190.75	78.07	2.45	360	131	2.75	184.26	64.16	[illegible]

TABLEAU du nombre de locomotives et de véhicules de quelques compagnies.

MATÉRIEL.		NORD.	EST.	ORLÉANS.
Nombre de machines.	Crampton.	15	12	»
	Voyageurs.	121	79	132
	Mixtes.		14	46
	Marchandises.	86	75	62
	Gares.	2	»	»
Voitures des trains de voyageurs.	Cérémonies.	1	»	»
	Salons.	5	1	»
	1re classe.	142	94	139
	Mixtes.	51	40	34
	2e classe.	193	280	262
	3e classe.	263	284	213
	Fourgons à bagages.	179	160	123
	Trucks à équipages.	59	46	62
	Écuries.	65	69	60
	Wagons à lait.	25	»	13
	Wagons-poste.	8	»	»
Voitures des trains de marchandises.	Wagons-bergeries.	50		60
	— à bois.	150		»
	— à pierres.	150		»
	— à bestiaux.	532		1525
	— à coulisses.	251		»
	— plats longs.	544		599
	— tombereaux.	75		»
	— à sable.	189	3359	»
	— à houille.	1403		»
	— à coke.	303		72
	— plats divers.	1273		»
	— à plaques tournantes.	2		12
	— maringottes.	»		»
	— à farines.	»		225
	— à freins.	»		10
	— de secours.	17	9	»
		kilom.	kilom.	kilom.
Parcours total des machines.	à voyageurs.	3 801 930	2 995 212	3 909 31[illegible]
	à marchandises.	2 620 793	2 274 409	2 192 [illegible]
Idem. des trains.	à voyageurs.	3 417 533	2 620 573	3 21[illegible]
	à marchandises.	2 370 196	1 784 570	2 154 [illegible]
Parcours moyen.	d'un voyageur.	51	71	78
	d'une tonne de marchandises.	161	169	139
Voyageurs transportés à 1 kilomètre.		242 230 000	176 181 332	223 7[illegible]
Tonnes de marchandises à 1 kilomètre.		189 940 205	139 418 279	152 471 [illegible]

pprovisionnements. La dépense pour approvisionnements se cal-
e en admettant qu'il suffit de posséder en magasin ou sur les
ntiers la quantité de coke et de matériaux nécessaire aux besoins
service actif pendant plusieurs semaines.

ontentieux. Les frais de contentieux sont sujets à des variations
ont souvent considérables.

rais imprévus. Malgré tous les soins qu'on a pu apporter à l'éta-
sement du devis d'un chemin de fer, devis dont les articles sont
nés au n° suivant, ce n'est pas faire une trop large part aux frais
révus que de les estimer à 1/10 de la dépense totale.

Division de la dépense d'établissement, par kilomètre, du chemin de Paris à Strasbourg, long de 502 kilomètres, et ouvert de 1849 à 1852.

Frais généraux.	Études, charges de la concession, administration centrale. Direction et conduite des travaux. Frais divers	17 150 fr.
Terrains	Acquisition	55 220
	Frais accessoires, indemnités, frais judiciaires	2 210
Terrassements.		66 380
Ouvrages d'art.	Ouvrages d'art courants	23 390
	Ponts sur rivières navigables	6 390
	Viaducs	4 840
	Souterrains	20 040
Clôtures du chemin	Clôtures sèches et vives	3 050
	Maisons de gardes et de cantonniers	1 160
	Passages à niveau	1 130
Bâtiments	Gares et stations	20 630
	Ateliers et remises du matériel	11 160
Mobilier	Mobilier des gares et stations	1 560
	Outillage des ateliers et dépôts	1 390
Voie de fer	Ballast, non compris l'entretien pendant les premières années	23 840
	Rails, coussinets, chevillets, traverses, etc.	88 730
	Pose de la voie	7 420
Accessoires de la voie	Plaques tournantes	3 700
	Changements et croisements de voie	1 070
	Signaux fixes	530
	Outillage de la voie	160
Alimentation des machines	Machines à vapeur et pompes à bras	270
	Grues hydrauliques. Réservoirs, tuyaux et prises d'eau	1 650
Télégraphe électrique (poteaux et fils des appareils)		340
Matériel roulant	Machines, locomotives et tenders	25 540
	Voitures et wagons	26 230
Dépenses non classées		20 200
Intérêts payés pendant la construction		21 500
Approvisionnements et fonds de roulement		1 000
	Total	457 650 fr.

521. *TABLEAU des dépenses moyennes de premier établissement des chemins de fer fr[…] matériel compris, et des recettes brutes annuelles, par kilomètre (Traité élément[…] chemins de fer*, de M. Perdonnet).

COMPAGNIES.	PARCOURS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins terminés. Une voie.	Deux voies.	DISTANCE moyenne des stations.	FRAIS d'établissement par kilomètre.	RECETTE brute par kilomètre.	de l'exer[cice]
		kilom.	kilom.	kilom.	fr.	fr.	
	Chemin de ceinture autour de Paris	»	17	1.34	11 500 000[1]	39 400	185[illegible]
NORD.	Paris à la frontière par Lille et Valenciennes	»	338	8.33	444 000		
	Lille à Dunkerque et Calais	»	145	»	264 000	56 000	185[illegible]
	Amiens à Boulogne	»	124	»	300 000		
	Creil à Saint-Quentin	»	102	»	240 000		
OUEST-NORD-OUEST.	Paris au Pecq	»	18.05	3.70	1 081 100		
	Vésinet à Saint-Germain (atmosphérique)	2.5	»	2.50	2 517 000	70 400	185[illegible]
	Asnières à Argenteuil	4.5	»	2.25	97 000		
	Paris à Auteuil	»	8.01	1.35	432 000		
	Paris à Rouen	»	140	8.12	484 000	81 500	185[illegible]
	Rouen au Havre	»	92	7.66	634 000	54 000	185[illegible]
	Rouen à Dieppe	»	50	10.00	281 800	16 855	185[illegible]
	Paris à Versailles (rive droite)	»	19	2.71	872 800	81 600	185[illegible]
	Id. (rive gauche)	»	17	2.43	1 015 000	50 000	185[illegible]
ORLÉANS.	Paris, Orléans et Corbeil	»	133	5.54	460 000	82 300	185[illegible]
	Orléans à Bordeaux, par Tours	»	461	8.40	328 000	37 634	185[illegible]
	Tours à Nantes	»	194	6.50	420 000		
	Centre, Clermont et Limoges	»	320	»	343 000		
EST.	Paris à Strasbourg	»	502	8.23	427 000		
	Frouard à Metz et Forbach	»	122	7.62	278 000	43 300	185[illegible]
	Metz à Thionville	»	»	6.00	224 000		
	Épernay à Reims	30	»	7.50	317 000		
	Strasbourg à Wissembourg	»	»	»	217 240	»	»
	Strasbourg à Bâle	»	135	4.86	310 000	24 500	185[illegible]
	Mulhouse à Thann	20	»	5.25	143 500	14 000	185[illegible]
	Blesmes à Gray	17	»	»	»	11 400	185[illegible]
	Montereau à Troyes	100	»	7.70	221 400	14 700	185[illegible]
	Paris à Mulhouse	»	»	»	425 874	»	»
	Nancy à Épinal	40	11	»	220 959	»	»
MIDI.	Bordeaux à la Teste	52	»	4.73	115 000	4 900	185[illegible]
ORSAY.	Paris à Sceaux	11	»	3 25	520 000	30 100	185[illegible]
LYON.	Paris à Lyon	»	508	8.76	563 000	58 500	185[illegible]
GRAND-CENTRAL.	Lyon à Saint-Étienne	»	57	4.07	454 800	93 200	185[illegible]
	Saint Étienne à Andrezieux	18	»	5.66	115 900	25 300	185[illegible]
	Andrezieux à Roanne	68	»	7.55	198 000	16 000	185[illegible]
	Lyon à la Méditerranée	»	125	6.25	445 000	»	»
	Avignon à Marseille	»	122	7.50	744 000	44 800	185[illegible]
	Beaucaire à Nîmes et Alais	64	28	5.44	240 800	23 800	185[illegible]
	Nîmes à Montpellier	»	52	3.27	290 000	20 000	185[illegible]
	Montpellier à Cette	27	»	6.75	183 300	18 000	185[illegible]

[1] Non compris le matériel fourni par la compagnie.

[2] Cette compagnie ne possédait pas de matériel roulant.

PRIX DE L'OUTILLAGE DES ATELIERS D'ÉPERNAY, CHEMIN DE L'EST (*Traité élémentaire des chemins de fer*, de M. Perdonnet).

4° *Atelier d'ajustage.*

machines à vapeur de 25 chevaux	41 000 fr.
chaudières à vapeur	15 100
machine à vapeur de 4 chevaux pour élever l'eau dans le réservoir.	4 000
tour à roues motrices des machines Crampton.	20 000
tours à roues motrices des machines ordinaires.	33 000
tours à petites roues de machines.	22 800
tours à roues de tenders et de wagons.	43 000
gros tours parallèles de $0^{m},50$ de hauteur de pointes.	22 000
tours parallèles à fileter	7 100
tour à recentrer les essieux.	5 650
tour sphérique	4 400
tours parallèles à engrenage de $0^{m},42$ de hauteur de pointes.	5 500
Id. *id.* de $0^{m},37$ *id.* .	4 500
tour à fileter.	1 000
petits tours parallèles de $0^{m},20$ de hauteur de pointes. . . .	2 250
tours simples.	7 200
tours simples à 4 poupées pour fileter les entretoises de foyer.	2 500
tour simple à fileter les entretoises et tourner les écrous. . .	1 500
tours simples à engrenages et à bancs de bois.	2 750
grande machine à raboter. Course, $3^{m},10$; largeur, $1^{m},45$. .	8 000
Id. *Id.* 3 ,00; *Id.* 0 ,50. .	3 000
Id. *Id.* 1 ,30; *Id.* 0 ,70. .	2 000
Id. *Id.* » ; *Id.* 0 ,50. .	5 600
Id. *Id.* 1 ,50; *Id.* 0 ,50. .	4 800
petite *Id.* *Id.* 0, 25; *Id.* 0 ,24. .	500
grande limeuse Wittwerth.	4 500
petites limeuses	4 200
grande machine à mortaiser.	11 540
moyenne *id.*	5 940
petites *id.*	5 660
machine à alaiser les trous des boutons des manivelles des roues motrices	3 880
grande machine à tarauder.	750
petite *id.*	250
machine à percer radiale	4 000
Id. à colonne.	750
Id. les trous des rivets de bandages.	500
Id. montées sur les colonnes des ateliers. . . .	7 400
auges en fonte pour meules à repasser.	1 250
machine à essayer l'huile.	500
presse hydraulique à caler les roues.	2 100
scie circulaire.	600
marbres à dresser.	1 020
roue en bois pour tour.	100
machine à vérifier les balances à ressorts des soupapes de locomotives..	450
étaux d'ajusteurs..	4 550
mètres courants d'établis d'ajusteurs avec tiroirs..	2 400
plaques tournantes de 2 mètres de diamètre	4 950
Total de l'atelier d'ajustage.	336 440 fr.

2° Ateliers des bandages de roues et des forges.

2	forges doubles à souder les bandages	1 300 fr.
2	forges simples	1 [illegible]
3	enclumes	600
1	grue en bois pour ces forges	250
1	potence en fer	100
1	four à chauffer les bandages droits	5 000
2	fours circulaires à chauffer les bandages	4 000
1	chariot à treuil pour ces fours	2 000
1	grue en fonte	3 500
1	machine à cintrer et mandriner les bandages	10 000
1	cuve à refroidir les bandages	1 000
1	gros marteau à pilon de 1 500 kilog.	13 500
1	chaudière et son fourneau pour ce marteau	5 [illegible]
1	four à réchauffer	2 [illegible]
1	marteau-pilon de 250 kilog.	[illegible]
1	*Id.* de 80 kilog.	2 [illegible]
10	forges maréchales doubles	6 500
20	enclumes de chacune 175 kilog.	1 500
3	étaux à chaud (150 kilog.)	675
10	potences en fer	1 000
6	soufflets en cuir	900
1	grue en bois et fer	[illegible]
1	ventilateur	[illegible]
	Total de l'atelier des bandages et des forges	67 [illegible] fr.

3° Atelier des ressorts et chaudronnerie.

5	forges doubles	3 [illegible]
2	forges simples	1 0[illegible]
12	enclumes (150 kilog.)	1 8[illegible]
2	étaux à chaud (400 kilog.)	5[illegible]
20	étaux d'ajusteurs (50 kilog.)	1 2[illegible]
4	marbres en fonte à dresser	7[illegible]
1	machine à cintrer les ressorts	[illegible]
1	laminoir à ressorts	1 600
1	machine à couper les tôles	3 [illegible]
1	machine à percer les tôles	3 [illegible]
2	grosses meules à aiguiser	1 00[illegible]
1	presse à essayer les tubes en laiton	175
	Cuves et fourneaux à nettoyer et sécher les tubes	600
6	soufflets en cuir	9[illegible]
1	ventilateur	700
20	mètres d'établis en bois avec tiroirs	300
	Total de l'atelier des ressorts et chaudronnerie	25 200 fr.

4° Atelier de montage des locomotives et tenders.

2	chariots roulants pour locomotives	5 000
1	chariot roulant pour tenders	2 000
	A reporter	7 000 fr.

stration, frais généraux, etc.	10 000 fr.
le terrain.	37 000
ements et travaux d'art.	70 000
its, ateliers et dépenses diverses.	22 000
double voie, y compris l'ensablement ainsi que les voies soires, plates-formes et changements de voies.	92 000
l roulant	27 000
Total.	258 000 fr.

nettant qu'une seule voie, la dépense serait de 30 000 fr. oit de 228 000 fr.

onnet divise les lignes qu'il peut rester à construire en qui sont d'une importance secondaire, en deux classes : d'une importance à peu près égale à celle de la ligne de lhouse ; 2° celles d'un produit un peu moins élevé, telles, le, que les chemins de Blesmes à Gray, de Dijon à Besan- t il divise la dépense ainsi qu'il suit :

	1re classe.	2e classe.
néraux, personnel, etc.	10 000 fr.	10 000 fr.
s..	35 000	25 000
ements, travaux d'art, clôtures.	115 000	80 000
its, ateliers et dépenses diverses.	20 000	15 000
nple ballastée, voies d'évitement, de ga- et accessoires de la voie.	70 000	55 000
l roulant	30 000	20 000
	280 000 fr.	205 000 fr.

nins de la première classe sont supposés établis avec des oids de 37 à 38 kilog., comme les grandes artères à une dans les conditions de pentes et de rayons généralement jourd'hui (460), et ceux de la seconde classe avec des rails g. seulement. (Si les pentes sont fortes, il vaut mieux, r cette seconde classe, employer des rails de 37 kilog.)

fférents modes de traiter d'une compagnie avec les entre-

forfait. Un entrepreneur s'engage à construire toute la voie, ou sim- partie, cas qui oblige de traiter avec plusieurs entrepreneurs, pour une minée. Les inconvénients de ce mode de traiter sont que les entrepre- rtune ou faillite, et qu'on ne peut pas modifier les plans pendant l'exé-

ar série de prix. Un ou plusieurs grands entrepreneurs, ou un grand etits entrepreneurs, s'engagent à construire la voie à raison de tant par que espèce d'ouvrage. C'est le meilleur mode de traiter, aussi l'emploie- ment en France. Il vaut mieux traiter avec les grands entrepreneurs qu'a- rons.

n régie. La compagnie fait exécuter elle-même ses travaux, et elle paye et ses ouvriers ; c'est le mode le plus dispendieux, mais il permet d'accé- qu'il est possible, l'exécution des travaux. Il y a du reste des travaux dont

on ne peut évaluer d'avance la valeur, et que l'on est obli
manière.

4° *Mode en régie intéressée.* La compagnie laisse aux
partie de l'économie faite sur l'exécution des travaux, a
devis; c'est le mode qui offre le moins de garantie d'u
vaux.

525. *TABLEAU des frais d'entretien annuel, par ki*
canaux et routes.

Chemins anglais desservis par des chevaux (transit de 40
Pour les chemins français desservis par des chevaux (trans
Chemin de fer de Saint-Germain (vitesse moyenne, 8 à 9 lieues à l'heure; circulation annuelle, 1 500 000 voyageurs, représentant 500 000 tonnes, poids bruts) . . . .
Canal du Centre (mal entretenu). . . . .
Id. de Briare. . . . .
Id. de Languedoc . . . .
Canal de grande jonction . . . .
Id. de Kennet et Avon. . . . .
Id. de Leeds à Liverpool. . . . .
Routes françaises départementales. . . . .
Id. *id.* impériales . . . .
Id. anglaises, 875 à 1000 et même . . . .

TABLEAU des dépenses d'entretien, par kilomètre de lo
ouvrages et des bâtiments des stations en 1850 (*Che*
M. Le Chatelier).

CHEMINS.	LONGUEUR entretenue.	ENTRETIEN
	kilom.	fr
Londres, Brighton et South-Coast.	144.2	2295.96
Lancashire et Yorkshire. . . .	327.4	3024.50
East-Lancashire.	127.1	1890.90
South-Eastern.	394.2	1677.60
Midland. (*a*).	799.7	1878.40
Eastern-Counties.	518.1	1871.10
Londres et North-Western (*b*). .	769.1	3017.20

(*a*) L'entretien du télégraphe électrique a coûté en out
(*b*) *Id.*

526. *Prix du transport d'une tonne à* 1 *kilomètre, s*

Chemins de Roanne et de Saint-Étienne, vitesse
viron (combustible, chauffeurs, service de
graissage, réparation des machines et wagon

l de Mons à Condé (retour avec moitié charge). . . .	0f,015
de Saint-Quentin (retour à vide).	0 ,020
de Givors (retour avec charge complète).	0 ,016
Id. (retour à moitié charge).	0 ,024
de Languedoc.	0 ,017
du Centre	0 ,028
de Briare.	0 ,030

frais de bateaux soient compris dans ces résultats, en séparant les ns, qui s'élèvent à 0f,0120, de ceux de traction sur les chemin de se est encore un peu moins forte pour les canaux que pour les chemins

un relevé fait en 1849 sur plusieurs chemins de fer franais de traction par kilomètre variaient, pour une loco- 1f,10 à 1f,30; depuis, quoique les machines aient aug-puissance, ces frais ont sensiblement diminué.

Dépense de traction par kilomètre parcouru.

	1855	1856	1857
Nord, ...	0f.83	0f.81	0f.79
Orléans.	0 .93	0 .90	0 .82
Lyon.	1 .03	0 .99	0 .99
Est	0 .87	0 .76	0 .81

d'après ce tableau, que les prix de la traction peuvent être 0f,80 et 1f,05, que les auteurs du *Guide du Mécanicien* la manière suivante :

nel et frais de régie.	0f,18 à	0f,22
stible.	0 ,32	0 ,42
graisse, suif, chiffon, eau, éclairage	0 ,05	0 ,07
ien des machines et tenders.	0 ,25	0 ,34
.	0 ,80	1 ,05

, au chemin de fer du Nord, ces frais de traction ont été our les machines à voyageurs, 0f,820 pour les petites loco-marchandises qui, sur des rampes de 0m,005, remorquent chargés de 10 tonnes; 0f,980 pour les locomotives moyennes nt 30 wagons, et 1f,193 pour les machines Engerth, à quatre roues accouplées, qui traînent 45 wagons.

de traction par locomotive, pour un kilomètre parcouru, nnent pas l'intérêt du capital dépensé pour l'achat du ma-onstruction des bâtiments, des ateliers de dépôts, l'achat ge; ni l'entretien des bâtiments, les impositions, l'assu-bâtiments, de l'outillage, du matériel roulant, etc.; ces les modifieraient notablement.



CINQUIEME PARTIE.

Architecture.

ORDRES D'ARCHITECTURE.

dule. Pour comparer entre elles les dimensions des diffé-
ties d'un même ordre d'architecture, on prend pour unité
amètre de la colonne, que l'on appelle *module*. Le module
n vingt-quatre parties pour le dorique grec, le toscan et le
main, et en trente-six parties pour les trois ordres élevés.
ions relatives aux tableaux suivants. Nous avons réuni,
emière, les cinq ordres de Vignole, et nous y avons joint
imité des Grecs. Ce dernier est plus généralement em-
piédestal ; le fût de la colonne repose directement sur des
mplaçant la plinthe qui sert de base à la colonne quand
iédestal.

tableaux suivants, qui renferment les proportions des
moulures et membres de moulures qui composent chaque
va toujours de la partie supérieure de l'ordre à la partie

mur qui surmonte l'ordre, celui de l'architrave, du gorge-
t à sa partie supérieure, se trouvant sur le même aplomb,
faisant une égale saillie sur l'axe de la colonne, dans les
uivants, les saillies de l'entablement et du chapiteau sont
partir de ces nus, dont la saillie sur l'axe pour les ordres :

ec,	Toscan,	Dorique romain,	Ionique,	Corinthien,	Composite,
ement :					
t.	19 part.	20 part.	30 part.	30 part.	30 part.

base de la colonne, les saillies sont comptées à partir du
artie inférieure du fût. La saillie de ce nu, sur l'axe de la
st de un module dans tous les ordres.

lies du piédestal sont comptées à partir du nu du dé. Ce nu
à l'aplomb de la plinthe et du tore inférieur de la base de
; sa saillie sur l'axe de la colonne est respectivement, pour
précédents :

.	1 m. 9 p.	1 m. 10 p.	1 m. 14 p.	1 m. 14 p.	1 m. 14 p.

TABLEAU des proportions des différentes moul
qui composent les différents

DORIQUE IMITÉ DES GRECS, 19 M.

	MEMBRES DE MOULURES qui composent l'ordre.	HAUTEUR. Mod.	HAUTEUR. Part.	SAILLIE. Mod.	SAILLIE. Part.
	ENTABLEMENT, 4 m. 8 p.				
Corniche, 1 m. 2 p.	Réglet		2.6	1	4.6
	Quart de rond		5.2	1	4.6
	Listel		1.3	1	
	Petit quart de rond		1.3	1	
	Filet		0.65		22.75
	Larmier		9.75		22.10
	Listel		1.3		18.85
	Mutules		2.6		18.2
	Gouttes		1.3		18.2
Frise, 1 m. 15 p.	Petite baguette		0.65		2.6
	Hauteur du bandeau, 3.25.				0.65
	Chapeaux des triglyphes		4.55		1.95
	Triglyphes	1	9.8		1.63
	Face de la frise			0	0
Archit., 1 m. 15 p.	Listel		2.6		1.95
	Haut. des chap. des gouttes, 2.6.				1.63
	Hauteur des gouttes, 1.3.				1.63
	Face de l'architrave	1	12.4		
	COLONNE, 11 m. 8 p.				
Chapiteau, 18.85 p.	Tailloir		9.1		9.1
	Quart de rond. — A la plus grande saillie		7.8		9.1
	Quart de rond. — Au bas				2.6
	Annelets. — Filet super.		1.95		2.6
	Annelets. — Filet infér.				0.65
	Ce sont quatre petits filets séparés entre eux par un refouillement égal à leur hauteur.				
Fût, 10 m. 5.15 p.	Partie comprise entre les annelets et la rainure		5.2	0	0
	Rainure		0.65		
	Fût	9	23.3	0	0
Base, 8 p.	Plinthe, ou marche continue sous le fût		8		3.73
	PIÉDESTAL, 3 m. 8 p.				
Corn., 10.4 p.	Réglet		1.7		6.06
	Larmier		5.2		5.2
	Talon. — Plus gr. saillie.		3.5		2.6
	Talon. — Au bas				0.65
Dé, 2 m. 9.9 p.	Dé	2	6.4	0	0
	Congé		3.5		3.5
Base, 11.7 p.	Premier socle		3.9		3.5
	Deuxième socle		7.8		4.33

MEMBRE
qui co

ENTAI

Corniche, 1 m. 8 p.: Cima su périe — Larmi — Cima infé

Frise, 1 m.

Arch., 1 m.: Filet. — Plat ban

Co

Chapiteau, 1 m.: Taillo — Cimai — Gorge

Fût, 19 m.: Astrag — Fût..

Base, 1 m.: Filet . — Tore . — Plinth

PIÉI

Corn., 12 p.: Cimais

Dé, 3 m. 16 p.: Socle. — Congé.

Base, 12 p.: Filet . — Socle.

La corniche de l

OMAIN, 25 M. 8 P.

CLURES ordre.	HAUTEUR.	SAILLIE.
, 4 m.	Mod. Part.	Mod. Part.
nement. . .	2	2
. . . .	6	1 18
. . . .	1	1 18
haut.	2	1 17.5
bas..		1 16.5
. . . .	7	1 16
haut.	2	1 15
bas.		13.5
. . . .	6	1 13
horizontal ex- al, 1 p. canal au-des- térieur, 1 p. horizontal in- al, 1 p.		
e de m- n. { à l'ext	1	1 8
à l'int.		8
t 2 p. 2/3 de re; elles sont 35 sous cha- elles sont dis- iquement par le manière a rré.		
. . . .	4	7
. . . .	1	3
riglyphes. .	4	2
. . . .	1 12	1
. . . .	1 12	0
. . . .	4	4
gouttes.. . .	1	3
. . . .	3	3
-bande. . .	12	1
e-bande. . .	8	0
6 m.		
. . . .	1	10
haut.	2	9.5
bas.		8
. . . .	5	7.5
. . . .	5	7
. . . .	2	3
. . . .	1	2
gé.	2	2
t. cylindriq.	6	0
uette.. . . .	2	3
t.	1	2
gé supér.. .	2	2
. . . .	13 15.5	0
geinferieur.	3.5	3.5
. . . .	1.33	3.5
. . . .	2.67	5
. . . .	8	10
he.	12	10
m. 8 p.		
. . . .	1	12
. . . .	2	11.5
. . . .	1	9.5
nge.	1.5	
rtie droite. .	3.5	8
haut.	3	3
bas..		0.5
. . . .	3 21	0
. . . .	3	3
. . . .	1	3
. . . .	2	4
e	4	7
le..	5	8
e.	8	10

IONIQUE, 28 M. 18 P.

	MEMBRES DE MOULURES qui composent l'ordre.	HAUTEUR.	SAILLIE.
	ENTABLEMENT, 4 m. 18 p.	Mod. Part.	Mod. Part.
Corniche, 1 m. 27 p.	Filet de couronnement. . .	3	1 26
	Doucine ou cimaise supér.	10	1 26
	Filet.	1	1 16
	Talon. . . { En haut. . . .	4	1 15
	{ En bas.		1 12
	Larmier..	12	1 11
	Refouillement du larmier, 1 p. Larg. du filet horizontal exter. qui borde la mouchette, 4 p. Larg. du filet horizontal intér. qui borde la mouchette, 2 p.		
	Quart de rond.	8	27
	Baguette.	2	20
	Filet.	1	19
	Cordon des denticules. . .	3	13
	Denticules.	12	18
	Filet..	2	10
	Talon ou cim. inf. { En haut. . . .	8	8.5
	{ En bas.		1.5
	Frise, 1 m. 18 p.	1 18	0 0
Architrave, 1 m. 9 p.	Listel.	3	10
	Talon.. . . { En haut. . . .	6	9.33
	{ En bas.		4.67
	Première face.	15	4
	Deuxième face..	12	2
	Troisième face.	9	0
	COLONNE, 18 m.		
Chapiteau, 21 p.	Filet..	2	10
	Talon.. . . { En haut. . . .	4	9
	{ En bas.		6
	Listel.	2	5
	Canal des volutes..	6	4
	Quart de rond. . { En haut. . . .	10	14
	{ En bas.		4
Fût, 16 m. 9 p.	Astragale. { Baguette. . . .	4	6
	{ Filet.	2	4
	Fût. . . . . { Congé supér. .	4	4
	{ Fût.	15 21	0 0
	{ Congé infér. .	4	4
Base, 1 m. 3 p.	Filet..	3	4
	Tore	10	9
	Filet	0.5	5
	Scotie..	4	4
	Filet..	0.5	8
	Deux baguettes.	4	9
	Filet..	0.5	8
	Scotie..	4	6
	Filet.	0.5	12
	Socle.	12	14
	PIÉDESTAL, 6 m.		
Corniche, 20 p.	Filet..	1	20
	Talon.. . . { En haut. . . .	3	19.5
	{ En bas.		17.5
	Larmier..	6	17
	Profond. du refouillement. 1 p.		
	Quart de rond.	6	9
	Baguette.	2	4
	Filet.	2	2.5
Dé, 4 m. 32 p.	Congé supérieur..	2.5	
	Socle.	4 25.5	0 0
	Congé inférieur.	4	4
Base, 20 p.	Filet	2	4
	Baguette.	2.67	6
	Talon renversé..	6	14
	Filet.	1.33	14
	Socle.	8	16

TABLEAU des proportions des différentes moulures et membres de [illegible] qui composent les différents ordres.

DORIQUE IMITÉ DES GRECS, 19 M.

	Membres de moulures qui composent l'ordre.	Hauteur. Mod. Part.	Saillie. Mod. Part.
	Entablement, 4 m. 8 p.		
Corniche, 1 m. 2 p.	Réglet	2.6	1 4.6
	Quart de rond	5.2	1 4.6
	Listel	1.3	1
	Petit quart de rond	1.3	1
	Filet	0.65	22.25
	Larmier	9.75	22.10
	Listel	1.3	22.85
	Mutules	2.6	18.2
	Gouttes	1.3	18.2
Frise, 1 m. 15 p.	Petite baguette	0.65	2.6
	Hauteur du bandeau, 3.25		0.65
	Chapeaux des triglyphes	4.55	1.95
	Triglyphes	1 9.8	1.63
	Face de la frise		0 0
Archit., 1 m. 15 p.	Listel	2.6	1.95
	Haut. des chap. des gouttes, 2.6		1.63
	Hauteur des gouttes, 1.3		1.63
	Face de l'architrave	1 12.4	
	Colonnes, 11 m. 8 p.		
Chapiteau, 18.85 p.	Tailloir	9.1	9.1
	Quart de rond. A la plus grande saillie		9.2
	Quart de rond. Au bas	7.8	2.6
	Annelets. Filet super.	1.95	2.6
	Annelets. Filet infér.		0.65
	Ce sont quatre petits filets séparés entre eux par un refouillement égal à leur hauteur.		
Fût, 10 m. 5.15 p.	Partie comprise entre les annelets et la rainure	5.2	0 0
	Rainure	0.65	
	Fût	9 23.8	0 0
Base, 8 p.	Plinthe, ou marche continue sous le fût	8	3.23
	Piédestal, 3 m. 8 p.		
Corn., 10.4 p.	Réglet	1.7	6.06
	Larmier	5.2	5.2
	Talon. Plus gr saillie	3.5	2.6
	Talon. Au bas		0.65
Dé, 2 m. 9.9 p.	Dé	2 8.4	0 0
	Congé	3.3	2.5
Base, 11 7 p.	Premier socle	2.6	2.6
	Deuxième socle	7.8	4.33

TOSCAN, 22 M. 4 P.

	Membres de moulures qui composent l'ordre.	[illegible]
	Entablement, 3 m. 12 p.	
Corniche, 1 m. 8 p.	Cimaise supérieure. Quart de rond	
	Cimaise supérieure. Baguette	
	Cimaise supérieure. Filet	
	Larmier. Congé	
	Larmier. Larmier	
	Larmier. Profond. de la mouchette, 1 p.	
	Larmier. Filet	
	Cimaise infér. Talon. En haut	
	Cimaise infér. Talon. En bas	
	Frise, 1 m. 4 p.	
Archit., 1 m.	Filet. Listel	
	Plate-bande. Congé	
	Plate-bande. Face	
	Colonne, 14 m.	
Chapiteau, 1 m.	Tailloir. Filet	
	Tailloir. Congé	
	Tailloir. Larmier	
	Cimaise. Quart de rond	
	Cimaise. Filet	
	Gorgerin. Congé	
	Gorgerin. Part. cylindr.	
Fût, 12 m.	Astragale. Baguette	
	Astragale. Filet	
	Fût. Congé super.	
	Fût. Fût	
	Fût. Congé infér.	
Base, 1 m.	Filet	
	Tore	
	Plinthe	
	Piédestal, 4 m. 16 p.	
Corniche, 12 p.	Cimaise. Listel	
	Cimaise. Talon. En haut	
	Cimaise. Talon. En bas	
Dé, 3 m. 16 p.	Socle	
	Congé	
Base, 18 p.	Filet	
	Socle	

Le contre-fronton qui empêche l'eau [illegible] corniche de l'entablement [illegible]

COMPOSITE, 31 M. 24 P.

…RES …re .	HAUTEUR.	SAILLIE.
…5 m.	Mod.Part.	Mod.Part.
…ment. . .	3	2
. . . . . .	10	2
. . . . . .	2	1 26
…ut. . . .	. . .4. .	1 25
…as.		1 22
. . . . . .	2	1 21.5
. . . . . .	10	1 20
…it partie ; pour la …s du lar-		
. . . . . .	3	1 6
. . . . . .	2	1
…ut. . . .	. . .8. .	35
…as. . . .		29
…denticules,		
		22
. . . . . .	16	28
. . . . . .	2	16
. . . . . .	10	14
. . . . . .	2	4
. . . . . .	1	2.5
. . . . . .	2.5	2.5
. . . . . .	34.5	0 0
. . . . . .	14	14
. . . . . .	2	14
. . . . . .	4	11.67
. . . . . .	6	11
. . . . . .	2	5
. . . . . .	20	4
…ut. . . .	. . .4. .	3.33
…as.		0.67
. . . . . .	16	0 0
…m.		
. . . . . .	3	
. . . . . .	1	
…ailloir, 8 p. …face du tail- …ond circu-		
…ond, 8 p.		12
…te, 3 p.		5
… .		4
. . . . . .	32	32
. . . . . .	24	16
…es feuilles,		
. . . . .	24	13
…es feuilles.		

	MEMBRES DE MOULURES qui composent l'ordre.		HAUTEUR.	SAILLIE.
	Suite de la COLONNE.			
			Mod.Part.	Mod.Part.
Fût, 16 m. 24 p.	Astragale.	Baguette. . . .	4	6
		Filet.	2	4
	Fût.	Congé supér. .	4	4
		Fût.	16 7	0 0
		Congé infér. .	4	4
		Filet.	3	4
Base, 1 m.	Tore		6	8
	Filet		0.5	5
	Scotie		3	4
	Filet		0.5	6.67
	Baguette.		1	7.5
	Filet		0.5	6.67
	Scotie		4	5.33
	Filet		0.5	10
	Tore		8	14
	Socle.		12	14
	PIÉDESTAL, 6 m. 24 p.			
Corniche, 23 p.	Filet		1.33	16
	Talon. . .	En haut. . . .	. . .3. .	15.5
		Au bas.		13.5
	Larmier.		6	13
	Doucine.		2.67	7
	Filet		1	2.5
	Cavet.		2	0.5
	Frise.		10	0 0
	Baguette.		2	4
Dé, 5 m. 8 p.	Filet		2	2.5
	Congé supérieur.		2.5	2.5
	Socle.		4 33.5	0 0
	Congé inférieur.		4	4
	Filet		2	4
Base, 24 p.	Baguette.		2	5.5
	Talon renversé.	En haut. . . .	. . .6. .	6
		Au bas.		10.5
	Filet		2	12.5
	Tore		6	16
	Socle.		8	16

…re est le nom général qu'on donne à toute partie d'architecture, comme …corniche, etc. Une moulure prend aussi le nom de *membre*, et une …pagnee d'un filet au-dessus ou au-dessous prend le nom de *membre*

CORINTHIEN, 31 M. 24 P.

	MEMBRES DE MOULURES qui composent l'ordre.	HAUTEUR.	SAILLIE.
	ENTABLEMENT, 5 m.	Mod. Part.	Mod. Part.
Corniche, 2 m.	Filet de couronnement	2	2 4
	Doucine	10	2 4
	Filet	1	1 30
	Talon — En haut	3	1 29
	Talon — En bas		1 27
	Larmier	10	1 26
	Talon — En haut	3	1 25
	Talon — En bas		1 23
	Modillon	12	1 22
	Filet	1	27
	Quart de rond	8	26
	Baguette	2	20
	Filet	1	19
	Denticules	12	18
	Filet	1	10
	Talon — En haut	6	9.33
	Talon — En bas		4
Frise, 1 m. 18 p.	Baguette	2	3.5
	Filet	1	2.5
	Congé	2.5	2.5
	Partie plane	1 12.5	0 0
Architrave, 1 m. 18 p.	Filet	2	10
	Talon — En haut	8	9.5
	Talon — En bas		4.5
	Baguette	2	4
	Première face	14	3
	Talon — En haut	4	2.67
	Talon — En bas		1.5
	Deuxième face	12	1
	Baguette	2	1
	Troisième face	10	0
	COLONNE, 20 m.		
Chapiteau, 2 m. 12 p.	Quart de rond	4	
	Filet	2	
	Face du tailloir	6	
	Haut. de la lèvre du vase, 4 p.		13
	Grandes volutes	16	34
	Haut. des petites volutes, 12 p.		18
	Petites feuilles supérieures	8	26
	Haut. du rev. de ces feuilles, 4 p.		
	Grandes feuilles	24	16
	Haut. de leur revers. 6 p.		
	Feuilles inférieures	24	13
	Revers de ces feuilles, 6 p.		

	MEMBRES DE MOULURES qui composent l'ordre.
	Suite de la COLONNE.
Fût, 16 m. 24 p.	Astragale — Baguette
	Astragale — Filet
	Fût — Congé super.
	Fût — Fût
	Fût — Congé infer.
	Fût — Filet
Base, 1 m.	Tore
	Filet
	Scotie
	Filet
	Deux baguettes
	Filet
	Scotie
	Filet
	Tore
	Socle
	PIÉDESTAL, 6 m. 24 p.
Corniche, 28 p.	Filet
	Talon — En haut
	Talon — En bas
	Larmier
	Gorge ou gouttière
	Baguette
	Filet
	Frise
	Baguette
Dé, 5 m. 8 p.	Filet
	Congé
	Socle
	Congé
	Filet
Base, 24 p.	Baguette
	Talon renversé
	Filet
	Tore
	Socle

COMPOSITE, 31 M. 24 P.

E MOULURES ...ent l'ordre.	HAUTEUR.	SAILLIE.
...MENT, 5 m.		
	Mod. Part.	Mod. Part.
...uronnement. . .	3	2
. . . .	10	2
. . . .	2	1 26
En haut. . . .	. . .4. .	1 25
Au bas.		1 22
. . . .	2	1 21.5
. . . .	10	1 20
...noitié fait partie ...uchette; pour la ...n-dessous du lar-		
. . . .	3	1 6
. . . .	2	1
En haut. . . .	. . .8. .	35
Au bas.		29
...ilet des denticules,		22
. . . .	16	28
. . . .	2	16
...ond.	10	14
. . . .	2	4
. . . .	1	2.5
...érieur.	2.5	2.5
...e.	34.5	0 0
...rieur.	14	14
. . . .	2	14
. . . .	4	11.67
...rond.	6	11
. . . .	2	5
...face.	20	4
En haut. . . .	. . .4. .	3.33
Au bas.		0.67
...face.	16	0 0
...SE, 20 m.		
...rond.	3	
. . . .	1	
...face du tailloir, 8 p. ...ert de la face du tail- ...quart de rond circu- ...p.		
...uart de rond, 8 p.		12
...a baguette, 8 p.		5
...filet, 1 p.		4
. . . .	32	32
...euilles.	24	16
...rev. de ces feuilles,		
...illes.	24	13
...rev de ces feuilles,		

MEMBRES DE MOULURES qui composent l'ordre.			HAUTEUR.	SAILLIE.
Suite de la COLONNE.				
			Mod. Part.	Mod. Part.
Fût, 16 m. 24 p.	Astragale.	Baguette. . . .	4	6
		Filet.	2	4
	Fût. . . .	Congé supér. .	4	4
		Fût.	16 7	0 0
		Congé infér. .	4	4
		Filet.	3	4
Base, 1 m.	Tore		6	8
	Filet.		0.5	5
	Scotie		3	4
	Filet		0.5	6.67
	Baguette.		1	7.5
	Filet		0.5	6.67
	Scotie		4	5.33
	Filet		0.5	10
	Tore		8	14
	Socle.		12	14
PIÉDESTAL, 6 m. 24 p.				
Corniche, 23 p.	Filet.		1.33	16
	Talon. . .	En haut. . . .	. . .3. .	15.5
		Au bas.		13.5
	Larmier.		6	13
	Doucine.		2.67	7
	Filet		1	2.5
	Cavet.		2	0.5
	Frise.		10	0 0
	Baguette.		2	4
Dé, 5 m. 8 p.	Filet		2	2.5
	Congé supérieur.		2.5	2.5
	Socle.		4 33.5	0 0
	Congé inférieur.		4	4
	Filet		2	4
Base, 24 p.	Baguette.		2	5.5
	Talon renversé.	En haut. . . .	. . .6. .	6
		Au bas.		10.5
	Filet		2	12.5
	Tore		6	16
	Socle.		8	16

Membre est le nom général qu'on donne à toute partie d'architecture, comme ..., une corniche, etc. Une moulure peut aussi le nom de *membre*, et une ... accompagnée d'un filet au-dessus ou au-dessous prend le nom de *membre* ...é.

tourer de murs, soient AB et AB′, figure 1re, planche II, les dimen-
sions de ce rectangle, c'est-à-dire les longueurs des murs. Pour av
leurs épaisseurs, au point A on élève une perpendiculaire AC égal
leur hauteur ; du point C comme centre, avec un rayon égal au
au 1/10 ou au 1/12 de AC, suivant que la stabilité doit être gra
moyenne ou faible, on décrit un arc de cercle *mn*; on mène la dr
CB, qui rencontre l'arc *mn* au point *o*; du point *o* on abaisse la pe
pendiculaire *or* sur AC, et *or* est l'épaisseur du mur dont la longu
est AB.

Pour avoir l'épaisseur du mur dont la longueur est AB′, il suff
mener CB′, et du point *p*, où cette droite rencontre l'arc *mn*, d'abai
ser la perpendiculaire *ps*, qui est l'épaisseur du mur dont la lon
gueur est AB′.

Si l'espace à entourer n'était pas un rectangle, mais un polyg
quelconque, on déterminerait l'épaisseur de chaque mur en op
comme on vient de le faire pour les murs AB et AB′.

Si tous les murs n'avaient pas la même hauteur, on opérerait e
core de la même manière, mais en prenant la perpendiculair
égale à la hauteur de chacun d'eux.

Le triangle rectangle ABC donne $BC = \sqrt{\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2}$ (*Int.*, 61
les deux triangles semblables ABC et C*or* (*Int.*, 611)

$or : Co = AB : CB = AB : \sqrt{\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2}$; d'où, en faisant $Co = \frac{AC}{8}$,

$$or = \frac{AC}{8} \times \frac{AB}{\sqrt{\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2}} \quad \text{ou} \quad e = \frac{h}{8} \times \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2}}.$$

$or = e$ épaisseur du mur en mètres;
$AC = h$ hauteur du mur en mètres;
$AB = l$ longueur du mur en mètres;
$\frac{1}{8}$ coefficient qui varie suivant l'exposition du mur au vent et la natur
matériaux, et que Rondelet fait encore varier de 1/8 à 1/12 pour les m
matériaux, suivant qu'il veut donner au mur une plus ou moins gr
stabilité.

La construction graphique et la formule précédente font voir
l'épaisseur d'un mur est d'autant plus forte que la hauteur et la lo
gueur sont plus grandes.

2° *Murs isolés.* Si l est très-grand par rapport à h, ce qui peut a
ver pour un mur de clôture par exemple, la formule précéd
donne sensiblement

$$e = \frac{h}{8}.$$

La construction graphique donne le même résultat ; car si la

AB est très-grande par rapport à AC, CB est sensiblement paral- AB, et la perpendiculaire *or* diffère peu du 1/8 de AC, valeur on adopterait pour un mur isolé, c'est-à-dire pour un mur qui ait entretenu par aucun autre.

r qu'un mur isolé résiste à la poussée du vent, il suffit que le nt de son poids, par rapport à son arête extérieure de contact la surface du sol, autour de laquelle le vent tend à le faire tour- oit au moins égal au moment de la poussée du vent, pris éga- t par rapport à cette arête ; ainsi, pour l'équilibre statique, il que l'on ait, par mètre de longueur de mur (*Int.*, 1411),

$$eh\delta \times \frac{e}{2} = ph \times \frac{h}{2}; \text{ d'où l'on tire } e = \sqrt{\frac{ph}{\delta}}$$

ession du vent contre le mur, en kilogrammes par mètre carré de surface, elle est variable suivant les lieux ; sur les bords de la mer, un vent qui vient du large peut donner $p = 278$ kilog. (225).

ession du vent contre un mètre de longueur de mur ; comme elle agit avec un bras de levier $\frac{h}{2}$ pour renverser le mur, son moment est $ph \times \frac{h}{2}$;

ids d'un mètre cube de maçonnerie (46) ;

lume d'un mètre de longueur de mur ; $eh\delta$ est son poids, et comme ce poids, qui est appliqué au centre de gravité du mur, a pour bras de levier $\frac{e}{2}$, il en résulte que son moment est $eh\delta \times \frac{e}{2}$.

sant dans cette formule $p = 278^k$, $h = 2^m,60$ et $\delta = 2200^k$, on en ut, pour ce cas extrême, $e = 0^m,573$. La formule empirique pré- ite de Rondelet, en y faisant $h = 2^m,60$, et en supposant l très- l, comme pour un mur de clôture, par exemple, donne seule- $e = 0^m,325$.

Murs circulaires. De tels murs pouvant être considérés comme s d'une infinité d'autres d'une longueur infiniment petite et yant mutuellement par leurs extrémités, il en résulte qu'ils ient subsister avec une épaisseur aussi faible que possible ; n effet ce que confirme l'expérience suivante : si l'on prend une e feuille de papier, il sera impossible de la faire tenir debout ne droite, au lieu que si on la contourne en cylindre, elle se a avec une certaine stabilité, quoique son épaisseur ne soit pas llième de sa hauteur.

endant, comme ces murs doivent avoir une certaine épaisseur être solides, il conviendra, pour déterminer l'épaisseur d'un irculaire, de considérer l'enceinte comme étant un polygone er de douze côtés, ou, pour plus de facilité, de chercher simple- l'épaisseur d'un mur droit d'une longueur égale à la moitie du

rayon de l'enceinte, et soutenu à ses deux extr
1° devient alors

$$e = \frac{h}{8} \times \frac{\frac{r}{2}}{\sqrt{\frac{r^2}{4} + h^2}}.$$

r rayon de l'enceinte.

4° Murs des bâtiments couverts d'un simple pente qui forme le toit d'un édifice est bien e à la solidité des murs ou points d'appui qui l à les entretenir. Rondelet, pour établir une r déterminer l'épaisseur à donner aux murs de pas voûtés, a considéré que les entraits des fe forment les combles étant toujours disposés geur L des bâtiments, ainsi que les poutres e chers, ils doivent servir à entretenir les mu mais qu'à cause de l'élasticité et de la flexibi susceptibles, ils ne laissent pas de fatiguer le plus grande largeur des espaces qu'ils renferm quent, c'est la largeur et la hauteur des pièc déterminer l'épaisseur des murs. Ainsi, pour des murs d'un édifice couvert d'un simple to puie contre les faces de ces murs jusque sous du comble, on prendra AB (figure 1, planche gueur du mur, mais à la largeur du bâtiment avec le 1/12 de la hauteur du mur pour rayon donnera alors la formule

$$e = \frac{h}{12} \times \frac{L}{\sqrt{L^2 + h^2}}.$$

L largeur du bâtiment.

Si les murs qui supportent le toit étaient hauteur par d'autres constructions ou par de puyant contre leurs faces extérieures, comme lieu dans les églises en basilique, l'arc mn sera égal à la 24ᵉ partie de la somme obtenue en totale h du mur la hauteur h' dont ce mur rieur ; on ferait $AC = h + h'$, h' étant la distan l'appentis à la naissance du toit qui recouvr précédente devient alors

$$e = \frac{h + h'}{24} \times \frac{L}{\sqrt{L^2 + (h + h')^2}}$$

s maisons d'habitation. Rondelet observe que dans les
inaires, où la hauteur des planchers ne dépasse pas 3m,30
r déterminer l'épaisseur des murs de refend, il ne faut
qu'à la longueur de l'espace qu'ils divisent et au nombre
s qu'ils ont à soutenir ; mais que quant aux murs de face,
és d'un côté dans toute leur hauteur, il faut avoir égard
du bâtiment et à son élévation.

orps de logis simple, figure 3, planche II, dont les mêmes
ent toute la largeur ou profondeur L du bâtiment, pour
'épaisseur des murs de face, on ajoute la largeur $ab = L$ à
la hauteur du bâtiment sous la naissance du toit, et le
somme est l'épaisseur à donner à chacun des murs de
sus du socle ou première retraite du rez-de-chaussée.
evient à la formule

$$e = \frac{L + \frac{h}{2}}{24}.$$

construction moyenne, on augmente e de 0m,027, et de
une construction solide.

orps de logis double, fig. 11, pl. II, c'est-à-dire pour un
is divisé en deux par un mur ab parallèle aux murs de
ent l'épaisseur à donner aux murs de face en ajoutant la
$= L$ à la hauteur du bâtiment et en prenant le 1/48 de
e ; ce qui revient à la formule

$$e = \frac{L + h}{48}.$$

rminer l'épaisseur à donner à un *mur de refend* ef, fig. 11,
on ajoute à la longueur $dg = L'$ de l'espace que ce mur
la hauteur H de l'étage, et l'on prend le 1/36 de cette
qui conduit à la formule

$$e = \frac{L' + H}{36}.$$

jouter 1/2 pouce (0m,0135) pour chaque étage au-dessus
haussée ; ainsi, pour trois étages, on ajouterait 0m,0405 à
e pour avoir l'épaisseur du mur par le bas. Cette propor-
le qui convient pour les constructions en briques ou en
ne dureté moyenne. Si l'on est obligé d'employer des
ires ou les tufs en usage dans quelques départements, au
pouce, on ajoute 1 pouce par étage à la valeur de e.

rminer l'épaisseur du mur ab qui divise l'espace compris
urs de face, même figure, on opère de la même manière

que pour le mur *ef*. Ainsi, en supposant que *hi* ne soit qu'une légère s
paration augmentant peu la solidité, on ajoute la longueur c*d* de l
pace divisé par ce mur à la hauteur de l'étage, et l'on prend le 1/3
la somme; le résultat trouvé est l'épaisseur qu'il faut donner au
s'il ne s'élève que d'un étage. Pour une plus grande hauteur,
ajoute encore 1/2 pouce par étage au-dessus du rez-de-chaussée.

Pans de bois et cloisons. Lorsqu'à un mur on substitue un pa
bois en charpente, hourdé en plâtre et ravalé des deux côtés p
former qu'une seule pièce, il suffit de lui donner la moitié de l'é
seur que devrait avoir, d'après la règle, le mur qu'il remplace. P
une cloison légère qui ne porte pas de plancher, 1/4 de l'épais
du mur suffit.

Appuis isolés. L'épaisseur des appuis isolés maintenus d'ap
par les parties environnantes varie du 1/8 au 1/12 de leur haut

830. *Épaisseurs ordinaires des murs*. Les observations qu
permis à Rondelet d'établir les formules du numéro précédent lui
fait reconnaître que, pour les maisons d'habitation divisées en p
sieurs étages par des planchers et entrecoupées par des murs
fend ou des pans de bois, les murs de face avaient une épaisseu
$0^m,41$ à $0^m,65$; les murs mitoyens, de $0^m,435$ à $0^m,54$, et les murs
refend, de $0^m,325$ à $0^m,487$.

Les murs mitoyens renfermant ordinairement les cheminées
deux maisons voisines, leur moindre épaisseur, $0^m,435$, est plus f
que la plus faible, $0^m,41$, des murs de face.

En général, les données précédentes de Rondelet ne diffèrent
sensiblement des épaisseurs en usage aujourd'hui dans la prati
épaisseurs consignées dans le tableau suivant.

BLEAU des épaisseurs en usage pour les murs de maisons d'habitation de largeur moyenne et d'une hauteur de 3 à 4 étages.

ATION DES PARTIES DES MURS.	MURS de face.		MURS de refend.		HAUTEUR d'étage.	
ndations	0m.75 à	1m.00	0m.70 à	0m.85		
reau des caves	0 .55	0 .80	0 .50	0 .65		
ol. du rez-de-chaussée	0 .50	0 .65	0 .35	0 .40		
ssus du 1er étage	0 .45	0 .55	»		3m.25 à	5m.00
du 2e étage	0 .40	0 .50	0 .30	0 .35	3 .00	4 .25
her du 3e étage	0 .32	0 .40	0 .25	0 .30	2 .80	3 .50

	ÉPAISSEURS AU REZ-DE-CHAUSSÉE. MURS de face.		MURS mitoyens.		MURS de refend.	
ents plus considérables que maisons d'habitation	0m.65 à	1m.00	0m.55 à	0m.65	0m.40 à	0m.55
ou édifices avec voûtes au -de-chaussée	1 .20	2 .50	1 .00	1 .50	0 .70	1 .20

Espace occupé par les murs. Rondelet a aussi déterminé le t de l'espace occupé par les murs et points d'appui, déduction e l'espace occupé par les portes et les fenêtres, à l'espace total ert par les édifices; il a trouvé :

les palais de Rome, dont les pièces du rez-de-chaussée sont ûtées . . . . $\frac{2}{9} = 0,222$

les bâtiments avec planchers, du siècle de Louis XIV. . . . . . . $\frac{1}{6} = 0,166$

les bâtiments du siècle de Louis XV et ceux faits depuis. . . . . $\frac{1}{8} = 0,125$

les bâtiments actuels en briques. . . . . $\frac{2}{17} = 0,117$

déduisant pas les vides des portes et croisées, ce rapport est 1/4 pour les e Rome; 1/4 pour ceux avec planchers construits sur la fin du règne de V ou au commencement de celui de Louis XV, et 2/15 dans les bâtiments en

plusieurs bâtiments de Paris bâtis depuis le règne de Louis XV, les murs et appui sont le 1/5, en ne déduisant pas les vides, et les 2/15 en les déduisant; eu près les proportions que donne la règle des moindres épaisseurs proposée delet, c'est-à-dire les 3/16 sans déduction des vides et les 2/16 avec déduction.

Dans ces cas exceptionnels, elle fixe les dimensions, la forme et le mode de construction de ces surélévations.

SECTION III. — *De la hauteur des étages.*

ART. 6. Dans tous les bâtiments, de quelque nature qu'ils soient, il ne peut être exigé, en exécution de l'art. 4 du décret du 26 mars 1852, une hauteur d'étage de plus de 2m,60.

Pour l'étage dans le comble, cette hauteur s'applique à la partie la plus élevée du rampant.

TITRE II. — DES COMBLES.

SECTION Ire. — *Des combles au-dessus des façades élevées au maximum de la hauteur légale.*

ART. 7. Le faîtage du comble ne peut excéder une hauteur égale à la moitié de la profondeur du bâtiment, y compris les saillies et corniches.

Le profil du comble, sur la façade du côté de la voie publique, ne peut dépasser une ligne inclinée à 45° partant de l'extrémité de la corniche ou de l'entablement.

ART. 8 Sur les quais, boulevards, places publiques et dans les voies publiques de ... moins de largeur, ainsi que dans les cours et espaces intérieurs en dehors de la voie publique, la ligne droite inclinée à 45° dans le périmètre indiqué ci-dessus peut être remplacée par un quart de cercle dont le rayon ne peut excéder la hauteur fixée par l'art. 7.

La saillie de l'entablement sera laissée en dehors du quart de cercle.

ART. 9. Les combles des bâtiments situés à l'angle d'une voie publique de 15m au moins de largeur et d'une voie publique de moins de 15m peuvent, par exception, être établis sur cette dernière voie suivant le périmètre déterminé par l'art. 8, mais seulement dans la même profondeur que celle fixée par l'art. 3.

ART. 10. Dans les cas prévus par les trois articles précédents, les reliefs de chéneaux et membrons ne doivent pas excéder la ligne inclinée à 45° partant de l'extrémité de l'entablement ou le quart de cercle qui, dans le cas prévu par l'art. 8, peut remplacer cette ligne.

ART. 11. Les murs de dossiers et les tuyaux de cheminées ne pourront percer la ligne du rampant du comble qu'à 1m,50, mesurés horizontalement du parement extérieur d'un mur de face, ni s'élever à plus de 0m,60 au-dessus du faîtage.

ART. 12. La face extérieure des lucarnes doit être placée en arrière du parement extérieur du mur de face donnant sur la voie publique et à une distance d'au moins 0m,30.

Elles ne peuvent s'élever, compris leur toiture, à plus de 3m au-dessus de la base des combles.

Leur largeur ne peut excéder 1m,50, hors œuvre.

Les jouées de ces lucarnes doivent être parallèles entre elles.

Les intervalles auront au moins 1m 50, quelle que soit la largeur des lucarnes.

La saillie de leurs corniches, égouts compris, ne doit pas excéder 0m,15

Il peut être établi un second rang de lucarnes en se renfermant dans le périmètre déterminé par les art. 7 et 8.

SECTION II. — *Les combles au-dessus des façades élevées à une hauteur moindre que la hauteur légale.*

ART. 13. Les combles au-dessus des façades qui ne seraient pas élevées au maximum de hauteur déterminé dans le titre Ier, peuvent dépasser le périmètre fixé par l'art. 7; mais ils ne doivent pas toutefois, ainsi que leurs chéneaux, membrons, lucarnes et murs de dossiers, excéder le périmètre général des bâtiments, fixé tant pour les façades que pour les combles, par les dispositions du titre 1er et de la première section du présent titre.

ART. 14. Les dispositions du présent titre sont applicables à tous les bâtiments placés ou non sur la voie publique.

TITRE III. — DISPOSITIONS TRANSITOIRES.

ART. 15. Les murs de face, les combles, les lucarnes dont l'élévation et la forme excèdent actuellement celles ci-dessus prescrites, ne peuvent être réconfortés ni reconstruits qu'à la charge de se conformer aux dispositions qui précèdent.

Toutefois, l'interdiction de réconforter les bâtiments situés en dehors des voies publiques et dans les cours et espaces intérieurs ne sera appliquée à ces bâtiments qu'à l'expiration d'un délai de vingt ans à partir de la promulgation du présent décret.

TITRE IV. — DISPOSITIONS DIVERSES.

ART. 16. Les dispositions du présent décret ne sont pas applicables aux édifices publics.

ART. 17. Les dispositions des règlements, ordonnances et autres actes contraires au présent décret, sont et demeurent rapportés.

:. *Division de la hauteur d'un bâtiment. Hauteur des étages.* Pour
itiment à deux étages, on divise la hauteur en seize parties
:, et l'on donne sept parties au rez-de-chaussée, cinq au premier
et quatre au second.

r un bâtiment à un seul étage, on divise la hauteur totale en
parties égales, sept parties pour le rez-de-chaussée et cinq pour
:.

dar donne pour les maisons d'habitation les hauteurs suivantes :

Caves.	Rez-de-chaussée.	Entresol.
$2^m,27$ à $2^m,92$	$3^m,25$ à $4^m,22$ et jusqu'à $5^m,20$	$2^m,27$ à $2^m,60$.

1er étage.	2e étage.	3e étage.	4e étage.
$3^m,90$ et jusqu'à $5^m,85$	$2^m,92$ à $3^m,90$	$2^m,60$ à $2^m,92$	$2^m,27$ à $2^m,60$.

nême auteur compte de $0^m,41$ à $0^m,54$ pour les épaisseurs des
; de caves, plus $0^m,11$ à $0^m,16$ de charge, et de $0^m,41$ à $0^m,49$
es épaisseurs des planchers, y compris carreau ou parquet et
d.

ministration parisienne ne tolère plus, dans les constructions
lles, moins de $2^m,60$ de hauteur d'étage (535).

. *Arcades.* Quand on veut conserver aux murs la plus grande
té possible, ce qui est indispensable dans les entrepôts, les ma-
;, etc., la hauteur de l'arcade est seulement égale à une fois la
ır entre les piliers ; dans quelques édifices, elle est égale à une
'2 cette largeur, et dans les portiques ordinaires elle est égale à
fois.

ınd les arcades sont séparées entre elles par un accouplement
onnes, l'entr'axe des colonnes accouplées est la moitié de l'entr'-
:s colonnes qui limitent l'arcade, c'est-à-dire le 1/3 de la largeur
de l'arcade, mais seulement pour les ordres inférieurs; pour
dres élevés, l'entr'axe des colonnes accouplées est le 1/4 de
axe total.

ıs les arcades sur piliers, la largeur du pilier est ordinairement
à la moitié de l'ouverture de l'arcade, c'est-à-dire au 1/3 de
axe des piliers. On peut diminuer cette largeur : ainsi, rue de
i, les piliers ont $0^m,86$ de largeur sur $0^m,65$ d'épaisseur pour une
ıre de $2^m,86$ mesurée entre les piliers; ces arcades ont $5^m,83$ de
ur, la distance des piliers aux pilastres qui leur font symétrie
e les devantures des boutiques, est de $3^m,40$; les dés servant de
ıux piliers ont $0^m,75$ de hauteur, et ils font saillie de $0^m,05$ tout
r de ces piliers.

}. *Frontons.* Leur montée varie du 1/5 au 1/6 de leur largeur.

). *Portes et croisées.* Les deux dimensions des portes et croisées
:ntre elles dans le même rapport que les dimensions des arcades

(537) ; ainsi la hauteur varie de une à deux fois la largeur, et même pour les entre-sols, la hauteur des croisées n'était quelquefois que les 2/3 de la largeur.

Une croisée carrée prend le nom de *mezzanine*.

Pour l'ordre Toscan, la hauteur des portes et croisées se fait égale à une fois 11/12 la largeur, pour le dorique deux fois, pour l'ionique deux fois 1/12, et pour le corinthien deux fois 1/6.

Dimensions des portes et croisées, et hauteur des appuis, d'après Mandar.

Portes	charretières.		2m.92 à 3m.25 de largeur.			
	cochères.		2 .60 à 2 .92 id			
	bâtardes.		1 .30 à 1 .62 id.			
	d'appartement, à 2 vantaux.	Largeur.	1m.30	1m.46	1m.[illegible]	
		Hauteur.	2 .27	2 .60	2 .[illegible]	
	d'appartement, à 1 vantail.	Largeur.	0 .73	0 .81	0 .[illegible]	
		Hauteur.	1 .95	2 .27	2 .[illegible]	

La hauteur des appartements étant successivement :

2m,27 2m,60 2m,92 3m,25 3m,90 et 5m,50 à 5m,85,

la hauteur des lambris d'appui est respectivement :

0m,76 0m,81 0m,86 0m,89 0m,97 1m,06.

Largeur des croisées	grandes.	1m.62 à 1m.79	Hauteurs des	appuis.	0m.89 à 1m.[illegible]	
	moyennes.	1 .46 à 1 .54		baguettes.	0 .35 à 0 .[illegible]	
	petites.	1 .14 à 1 .30		balcons.	0 .54 à 0 .[illegible]	
Châssis à tabatière pour les combles	Hauteur.	0m.81	0m.97	1m.14	1m.[illegible]	
	Largeur.	0 .65	0 .73	0 .81	0 .[illegible]	

540. *Salles*. Pour les grandes salles de réunion, le rapport de la hauteur à la largeur est :

1° Pour les salles voûtées, la largeur étant prise dans la nef, de. . . . 1 à 1,[illegible]
2° Pour les salles rondes voûtées. 1
3° Pour les salles oblongues couvertes d'un plafond. 1
4° Pour les salles carrées couvertes d'un plafond, moins de. 1

La hauteur des salles d'habitation varie de moins de la moitié de la largeur à une fois cette largeur.

541. *Galeries*. Lorsque la longueur d'une salle dépasse deux fois la largeur, elle prend le nom de *galerie*, et lorsque la longueur d'une galerie est très grande par rapport à la largeur, on la divise en travées, soit par des arcs doubleaux soutenus à l'aide de pilastres ou de colonnes, soit par tout autre moyen. Plusieurs galeries du Louvre offrent des exemples de ce genre de division.

542. *Salles à manger et tables, salles de billard, salons, chambres*

-, *etc.* La largeur d'une table à manger est ordinairement de
elquefois on lui donne 2 mètres ; mais alors on place au milieu
ut. Dans tous les cas, elle se termine à chaque extrémité par
-cercle. Pour que les domestiques circulent facilement autour
ble, la distance qui la sépare des murs de la salle doit être de
mètre à ses extrémités, et de 1m,25 à 1m,35 latéralement.
une salle de billard, il faut un espace de 2 mètres entre le
et les murs de la salle.

icies en mètre carrés des différentes pièces qui composent un appartement (Mandar).

	PETITS.		MOYENS.		GRANDS.		
. . . .	15.49	à 22.79	34.49	à 45.58	56.98	à 68.38	et jusqu'à 79.77
. . . .	13.30	18.99	28.49	37.99	45.58	56.98	68.38
res à coucher.	11.40	15.20	24.69	30.39	37.99	45.58	56.98
d'escaliers.. .	9.50	13.30	18.99	24.69	30.39	37.99	45.58
ambres, vesti- s.	7.60	11.40	15.20	18.99	24.69	30.39	37.99
ts.	5.70	7.60	11.40	15.20	18.99	22.79	30.39

Cheminées. La mode de placer des glaces sur les cheminées
iminuer de jour en jour leurs dimensions. Les plus grandes
que 1m,95 de largeur sur 1m,30 de hauteur ; souvent celles des
appartements n'ont que 1m,25 de largeur sur 1 mètre de hauteur,
en fait qui n'ont que 0m,80 sur 0m,80. La largeur des jambages et
nteau est le 1/10 environ de la largeur de la cheminée ; ainsi,
les premières, elle est de 0m,195 ; pour les secondes, 0m,125, et
les plus petites, 0m,08. La profondeur varie de 0m,45 à 0m,80
5).

rtions des cheminées, suivant les dimensions des pièces où elles se trouvent.

	PIÈCES					
	petites,		moyennes.		grandes.	
geur dans œuvre.	0m 81	à 0m.97	1m.14	à 1m.30	1m.62	à 1m.95
teur de la tablette. . . .	0 .89	0 .97	0 .97	1 .03	1 .14	1 .30
geur de la tablette. . . .	0 .27	0 .32	0 .35	0 .38	0 .40	0 .43

4. Une ordonnance de police, du 24 novembre 1843, concer-
les incendies, a prescrit, pour Paris, le *mode de construction*
cheminées, poêles, fourneaux et calorifères, et les dispositions à

prendre pour éviter et éteindre les incendies. C
reproduit les règlements antérieurs sur les matiè

TITRE Ier. — *Constructions des cheminées, poêles, four*

ART. 1er. Toutes les cheminées doivent être construites d
gers du feu, et à pouvoir être facilement ramonées.

ART. 2. Il est interdit d'adosser des foyers de cheminée,
cloisons dans lesquelles il entrerait du bois, à moins de
extérieur du mur entourant ces foyers et les cloisons, un e

ART. 3. Les foyers des cheminées ne doivent être posés
çonnerie ou sur des trémies en matériaux incombustibles.

La longueur des trémies sera au moins égale à la largeur
la moitié de l'épaisseur des jambages. Leur largeur sera de
du fond du foyer jusqu'au chevêtre.

ART. 4. Il est interdit de poser les bois des combles
de 0m,16 de toute face intérieure des tuyaux de cheminée et

ART. 5. Les languettes des tuyaux en plâtre doivent être
avoir au moins 0m,08 d'épaisseur.

ART. 6. Chaque foyer de cheminée doit avoir son tuyau
hauteur du bâtiment.

ART. 7. Les tuyaux de cheminée, qui n'auraient pas a
geur sur 0m,25 de profondeur, ne pourront être que de form
arrondis, sur un rayon de 0m,06 au moins.

Ces tuyaux ne pourront dévier de la verticale, de man
angle de plus de 30°. L'accès de ces tuyaux, à leur partie
cile.

ART. 8. Les mitres en plâtre sont interdites au-dessus de

ART. 9. Les fourneaux potagers doivent être disposés de
qui en proviennent soient retenues par des cendriers fixes e
combustibles, et ne puissent tomber sur les planchers.

ART. 10. Les poêles de construction reposeront sur une
bustibles d'au moins 0m,08 d'épaisseur, s'étendant de 0m,30
foyer. Cette aire sera séparée du cendrier intérieur par u
permettant la circulation de l'air.

Les poêles mobiles devront reposer sur une plate-forme
bles d'au moins 0m,20 de saillie, en avant de l'ouverture du

ART. 11. Les tuyaux de poêles et tous autres tuyaux cond
tal, devront toujours être isolés, dans toute leur hauteur, d
sons dans lesquelles il entrerait du bois.

Lorsqu'un tuyau traversera une de ces cloisons, le diamèt
la cloison devra excéder de 0m,16 celui du tuyau.

Ce tuyau sera maintenu au passage par une tôle dans laqu
verture égale au diamètre extérieur dudit tuyau.

ART. 12. Aucun tuyau conducteur de fumée, en métal, ne
cher ou un pan de bois, à moins d'être entouré au passage
ou en terre cuite. Le diamètre de ce manchon excédera de 0m
nière qu'il y ait partout entre le manchon et le tuyau un in

ART. 13. Les prescriptions des art. 2, 3, 4, 10, 11 et 1
cheminée et aux tuyaux conducteurs de fumée, en métal, ser
de chaleur des calorifères à air chaud.

Toutefois, sont exceptés les tuyaux de chaleur qui prenn
rieure de la chambre dans laquelle est placé l'appareil de ch

ART. 14. Il nous sera donné avis des vices de constructi
fourneaux et calorifères, qui pourraient occasionner un inc

TITRE II. — *Entretien et ramonage des cheminées.*

15. Les propriétaires sont tenus d'entretenir constamment les cheminées en
t.

16. Il est enjoint aux propriétaires et locataires de faire ramoner les cheminées tuyaux conducteurs de fumée, assez fréquemment pour prévenir les danger du

défendu de faire usage du feu pour nettoyer les cheminées et les tuyaux de

cheminées qui ne présenteraient pas, à l'intérieur et dans toute la longueur du un passage d'au moins $0^m,60$ sur $0^m,25$, ne devront être ramonées qu'à la

TITRE III. — *Des couvertures en chaume et en jonc.*

17. Aucune couverture en chaume ou en jonc ne pourra être conservée ou sans notre autorisation.

TITRE IV. — *Des fours, forges, usines et ateliers.*

. 18. Les fours, forges et usines à feu, non compris dans la nomenclature des sements classés, lesquels sont soumis à des règlements spéciaux, ne pourront tablis dans l'intérieur de Paris sans notre permission.

. 19. Il est défendu de déposer du bois, ni aucune matière combustible au-des- les fours et dans aucune partie du fournil.

soupentes, resserres, planches et supports à pannetons, et toutes constructions es dans les fournils, seront en matériaux incombustibles.

étouffoirs et coffres à braise doivent être également en matériaux incombus- s.

r. 20. Les charrons, menuisiers, carrossiers et autres ouvriers qui s'occuperaient ême temps de travailler le bois et le fer, sont tenus, s'ils exercent les deux pro- ns dans la même maison, d'y avoir deux ateliers entièrement séparés par un mur, ins qu'entre la forge et l'endroit où l'on travaille ou dépose le bois, il n'y ait une nce de 10 mètres au moins.

leur est défendu de déposer dans l'atelier de la forge aucuns bois, recoupes, ni s de charronnage, menuiserie ou autres; sont exceptés cependant les ouvrages et qu'on serait occupé à ferrer; mais ces ouvrages seront mis à la fin de chaque née dans un endroit séparé de la forge, en sorte qu'il ne reste dans l'atelier au- s matières combustibles pendant la nuit.

T. 21. Dans les ateliers de menuiserie ou d'ébénisterie, les fourneaux ou forges, nés à chauffer les colles, ne seront établis que sous des hottes en matériaux in- ustibles.

itre sera entouré d'un mur en briques de $0^m,25$ de hauteur au-dessus du foyer, foyer sera disposé de manière à être clos pendant l'absence des ouvriers par une eture en tôle.

ns les mêmes ateliers, on ne pourra faire usage des chandeliers en bois.

E V. — *Entrepôts, magasins et dépôts de matières combustibles, inflammables, détonantes et fulminantes, théâtres et salles de spectacle.*

RT. 22. Aucuns magasins et entrepôts de charbon de terre, houille, tourbes et au- combustibles, ne pourront être formés dans Paris sans notre autorisation.

RT. 23. Il est défendu d'entrer dans les écuries avec de la lumière non renfermée une lanterne.

RT. 24. Il est interdit d'entrer avec de la lumière dans les magasins, caves et autres renfermant des dépôts d'essences ou de spiritueux, et en général de toutes ma-

tières inflammables ou fulminantes, à moins que cette lum
une lanterne.

Les caves et magasins, renfermant des essences et des sp
tillés au moyen d'une ouverture de 0m,03 ou 0m,04 ména
la largeur de la porte d'entrée, et d'une autre ouverture o
seconde ouverture sera pratiquée dans la partie supérieu
gasin.

Art. 25. Il est défendu de rechercher les fuites de gaz
mière.

Art. 26. La vente des pièces d'artifice, le tir des armes
la conservation, le transport et la vente des capsules et des
ront lieu conformément aux règlements spéciaux relatifs à

Les directeurs des théâtres et des salles de spectacle, les
et entrepôts de bois de chauffage, des magasins de charbo
se conformeront aux dispositions prescrites, pour prévenir
ments spéciaux qui régissent ces établissements.

Titre VI. — *Halles, marchés, abattoirs, vo*

Art. 27. Il est défendu d'allumer des feux dans les halles
aucuns chaudrons à feu, réchauds ou fourneaux.

Il n'y sera admis que des pots à feu d'une petite dimensi
métallique. Il est défendu de laisser ces pots dans les hal
clôture, quand même le feu serait éteint. Il est défendu auss
et marchés de lumières non renfermées dans les lanternes

Art. 28. Il est défendu de faire du feu sur les ports, qu
sation.

Les personnes autorisées à s'introduire la nuit dans les
avec de la lumière qu'autant qu'elle serait renfermée dans

Art. 29. Il est expressément défendu de brûler de la pa
voie publique, dans les cours, jardins et terrains particulie
cun amas de matières combustibles.

Art. 30. Il est interdit de fumer dans les salles de spec
chés, abattoirs, et en général dans l'intérieur de tous les mo
placés sous notre surveillance.

Il est également défendu de fumer dans les écuries, dans
droits renfermant des essences, des spiritueux, ainsi que des
flammables ou fulminantes.

Titre VII. — *Extinction des incend*

Art. 31. Aussitôt qu'un feu de cheminée ou un incendi
donné avis au plus prochain poste de sapeurs-pompiers e
du quartier.

Art. 32. Si les seaux à incendie, les pompes et autres
portés par les soins des commissaires de police et du com
piers sont insuffisants, les commissaires de police ou le
pompiers mettront en réquisition les seaux, pompes, échell
soit dans les édifices publics, soit chez les particuliers. Les
détenteurs de ces objets seront tenus de déférer immédiatem

Les commissaires de police requerront aussi au besoin la
tien de l'ordre et la conservation des propriétés.

Art. 33. Il est enjoint à toute personne chez qui le feu
les portes de son domicile à la première réquisition des s
agents de l'autorité.

Art. 34. Les propriétaires et locataires des lieux voisin

s de livrer, au besoin, passage aux sapeurs-pompiers et autres agents de l'auto-
ppelés à porter des secours.

35. Les habitants de la rue où l'incendie se manifestera, et ceux des rues ad-
es, tiendront les portes de leurs maisons ouvertes, et laisseront puiser de l'eau
s puits et pompes pour le service de l'incendie.

36. En cas de refus de la part des propriétaires et des locataires de déférer aux
iptions des trois articles précédents, les portes seront ouvertes à la diligence du
ssaire de police, et, à son défaut, de tout commandant de détachement de sa-
pompiers.

. 37. Il est enjoint aux propriétaires et principaux locataires des maisons où il y
puits, de les garnir de cordes, poulies et seaux, et d'entretenir ces puits en bon
insi que les pompes et autres machines hydrauliques qui y seraient établies.

. 38. Les porteurs d'eau à tonneaux rempliront leurs tonneaux chaque soir avant
remiser, et ils les tiendront pleins toute la nuit.

premier avis d'un incendie, ils y conduiront leurs tonneaux pleins.

era accordé une gratification à chacun des deux porteurs d'eau arrivés les pre-
au lieu de l'incendie avec leurs tonneaux pleins. Cette gratification sera de 12 fr.
le premier arrivé, et de 6 fr. pour le second.

cas d'incendie, les porteurs d'eau sont autorisés à puiser à toutes les fontaines
inctement. Ils seront payés de leur travail à raison de 35 centimes l'hectolitre d'eau
ie.

. 39. Les gardiens des pompes et réservoirs publics seront tenus de fournir l'eau
saire pour l'extinction des incendies.

r. 40. Toute personne requise pour porter secours en cas d'incendie et qui s'y
refusée, sera poursuivie ainsi qu'il est dit en l'art. 475 du Code pénal.

r. 41. Les maçons, charpentiers, couvreurs, plombiers et autres ouvriers, seront
, à la première réquisition, de se rendre au lieu de l'incendie avec leurs outils ou
; faute par eux de déférer à cette réquisition, ils seront poursuivis devant les
naux conformément audit art. 475.

r. 42. Tous propriétaires de chevaux seront tenus, au besoin, de les fournir
le service des incendies, et le prix du travail de ces chevaux sera payé sur mé-
es certifiés par le commissaire de police ou par le commandant des sapeurs-pom-
.

rt. 43. Il est enjoint aux marchands épiciers, ciriers, chandeliers, voisins de l'in-
lie, de fournir, sur les réquisitions des commissaires de police ou du comman-
des sapeurs-pompiers, les flambeaux et terrines nécessaires pour éclairer les tra-
eurs.

prix des fournitures faites sera payé sur des mémoires certifiés, ainsi qu'il est
n l'article précédent.

rt. 44. Les commissaires de police, les commandants des sapeurs pompiers et tous
ts de l'autorité, nous signaleront les personnes qui se seront fait remarquer dans
ncendies.

rt. 45. Les commissaires de police dresseront procès-verbal des incendies et des
onstances qui les auront accompagnés.

s rechercheront les causes des incendies et les indiqueront.

rt. 46. L'ordonnance de police du 21 décembre 1819, concernant les incendies, est
portée; sont également rapportées les dispositions des anciens règlements ci-dessus
, qui seraient contraires aux prescriptions de la présente ordonnance.

rt. 47. Les contraventions à la présente ordonnance seront constatées par des
ès-verbaux qui nous seront transmis pour être déférés, s'il y a lieu, aux tribunaux
pétents.

sera pris en outre, suivant les circonstances, telles mesures d'urgence qu'exigera
ûreté publique.

548. *Escaliers.* Afin que l'on ne se fatigue pas trop en montant un

escalier, la distance verticale de deux paliers successifs ne doit p
dépasser 2^{m},50 à 3 mètres.

La hauteur de la rampe varie de 0^{m},89 à 1^{m},06.

La longueur des marches varie de 1^{m},62 à 1^{m},95 pour les gra
escaliers, de 1^{m},30 à 1^{m},46 pour les moyens, de 0^{m},97 à 1^{m},14 pour l
petits, et de 0^{m},65 à 0^{m},81 pour ceux de dégagement.

La hauteur des marches est moyennement égale à la moiti
giron ; elle varie de 0^{m},13 à 0^{m},19, mais en sens inverse du giron.

On peut déterminer la hauteur ou la largeur des marches des
liers, quand l'une de ces dimensions est connue, à l'aide de la form
empirique

$$2h + l = 0^{m},65.$$

h hauteur de la marche ;
l largeur du giron.

Si $h = 0$, on a $l = 0^{m},65$, qui est le pas d'infanterie (39).
Si $l = 0$, on a $h = 0^{m},325$, qui est l'espacement des échelons d'une échelle.

Faisant successivement dans la formule précédente l égale à

0^{m},27 0^{m},30 0^{m},32 0^{m},35 et 0^{m},38,

on en conclut respectivement pour h :

0^{m},19 0^{m},175 0^{m},165 0^{m},15 0^{m},135,

valeurs qu'il convient d'adopter dans la pratique.

846. *Fourneaux potagers et fours à cuire le pain.* Les fourn
potagers ont de 0^{m},76 à 0^{m},85 de largeur sur autant de hauteur.

Le diamètre des fours varie de 0^{m},89 à 0^{m},97 pour les petits, de 1^{m},
à 1^{m},30 pour les moyens, et de 1^{m},46 à 1^{m},62 pour les grands. L
du four s'établit à 0^{m},85 ou 0^{m},95 au-dessus du sol. La voûte en
pelle s'élève de 0^{m},35 à 0^{m},45 au-dessus de l'âtre.

Les fours de manutention ont de 3^{m},25 à 3^{m},90 et même 4^{m},
diamètre.

847. *Cours.* Pour qu'un carrosse puisse tourner sans difficu
une cour doit avoir au moins 7^{m},80 de côté.

848. *Fosses d'aisances.* Les fosses d'aisances doivent être, aut
que possible, placées plus bas que les caves, de manière que l'ext
dos de leur voûte se trouve au niveau du sol de celles-ci ; on n'a p
à redouter ainsi les inconvénients qui peuvent résulter du peu d'
perméabilité des maçonneries, c'est-à-dire les infiltrations et
fuites de gaz, qui répandent une mauvaise odeur. Du reste, da
chaque localité, des règlements de voirie déterminent les règl
suivre dans la construction des fosses d'aisances.

Les fosses d'aisances doivent être construites avec le plus gra
soin ; la maçonnerie des murs, auxquels on ne peut donner moins

ou 0m,50 d'épaisseur, et celle de la voûte, dont l'épaisseur ne tre moindre que 0m,30 à 0m,35, doivent, autant que possible, ourdées en mortier hydraulique, et leurs parois intérieures ertes d'un enduit en mortier de chaux hydraulique, ou mieux de t romain; on s'assure ainsi de l'imperméabilité, propriété imte, surtout dans les grandes villes, à cause du voisinage des des puits, des citernes, etc.

oit chercher à placer les fosses d'aisances sous les cages d'es ou auprès; cela permet, en arrondissant ces cages pour leur r une disposition agréable, de loger les tuyaux de descente et t dans les angles, et même d'y placer les cabinets.

lessus de la tablette du siége se place à 0m,40 ou 0m,45 au-des sol du cabinet.

tuyaux de descente doivent être placés verticalement, ou à ès, sans quoi ils s'engorgeraient facilement. On les fait corres e au cabinet de chaque étage au moyen d'un coude de tuyau en ou en terre cuite, sur lequel on pose la cuvette, s'il y en a une, e siége.

diamètre intérieur des tuyaux de descente est de 0m,20 ou au minimum, et il convient de le porter à 0m,25 ou 0m,27 d l'emplacement le permet. Quant aux tuyaux d'évent, que place derrière ceux de descente, et qui vont du sommet de la au-dessus des combles, on leur donne un diamètre de 0m,25 au s.

ns les bâtiments de quelque importance, les conduits de des et de ventilation se font généralement en tuyaux de fonte, que rejointoie avec du ciment romain ou du mastic de fontainier. espèce de conduite devrait toujours être préférée, même dans etites constructions; car si la dépense première qu'elle occane est plus forte que pour les tuyaux en terre cuite ou en grès, us grande résistance, sa plus grande durée, et le peu de réparaqu'elle occasionne, la rendent, en définitive, moins dispense.

s dimensions à donner aux fosses d'aisances varient selon les tités de matières qu'elles doivent recevoir dans un temps donné; nt que possible, cependant, on ne doit pas leur donner moins de tres de côté, et l'on en fait qui ont jusqu'à 7 à 8 mètres de Quelle que soit leur capacité, on ne doit jamais leur donner s de 2 mètres de hauteur sous clef.

ant d'établir des fosses d'aisances dans une localité, le construcdoit se renseigner sur les divers règlements de voirie relatifs à fosses en vigueur dans la localité. Nous nous contenterons de connaître les mesures de police que l'autorité prescrit à Paris

pour la *construction*, la *reconstruction* et les *réparations* des fo[sses]
d'aisances.

Fig. 80.

La figure 80 représente les [cou]pes verticale et horizontale [d'une] fosse d'aisances, pour un [bâti]ment habité par sept ou huit [per]sonnes, et construite selon [les] règles de l'ordonnance suiva[nte]. Cette fosse a 3 mètres de lar[geur], 4^m,50 de longueur et 3 mètres [sous] clef.

T tuyau de chute des matières;
T′ tuyau d'évent;
C cheminée d'extraction des mat[ières];
t′ fermeture de la cheminée d'extr[action]; elle est formée d'une pierre de ... à 0^m,15 d'épaisseur, que l'on g[arnit] en son milieu d'un anneau ... dans lequel on passe un ba[rreau ou] une pince quand on veut sou[lever la] pierre;
C′ châssis en pierre dans lequel s'en[castre] la fermeture;
t tampon mobile en pierre.

L'art. 193 de la coutume de [Pa]ris, et une ordonnance roya[le du] 24 septembre 1819, dont les di[spo]sitions peuvent être étendues [aux] villes, bourgs et gros villages par l'autorité municipale, veulent [que] chaque maison soit pourvue de fosses d'aisances suffisantes et [pro]portionnées au nombre des personnes qui doivent en avoir l'us[age], sans avoir besoin de les vider trop souvent.

ORDONNANCE DU 24 SEPTEMBRE 1819.

SECTION 1re. — *Des constructions neuves.*

ART. 1er. A l'avenir, dans aucun des bâtiments publics ou particuliers de [notre] bonne ville de Paris et de leurs dépendances, on ne pourra employer, pour [fosses] d'aisances, des puits, puisards, égouts, aqueducs ou carrières abandonnés, sans y [faire] les constructions prescrites par le présent règlement.

ART. 2. Lorsque les fosses seront placées sous le sol des caves, ces caves [devront] avoir une communication immédiate avec l'air extérieur.

ART. 3. Les caves sous lesquelles seront construites les fosses d'aisances [devront] être assez spacieuses pour contenir quatre travailleurs et leurs ustensiles, et [avoir au] moins 2 mètres de hauteur sous voûte.

ART. 4. Les murs, la voûte et le fond des fosses seront entièrement constr[uits]

meulières, maçonnées avec du mortier de chaux maigre et de sable de rivière ré.
arois des fosses seront enduites de pareil mortier, lissé à la truelle.
ne pourra donner moins de 0m,30 à 0m,35 d'épaisseur aux voûtes, et moins de 0m,50 aux massifs et aux murs.
5. Il est défendu d'établir des compartiments ou divisions dans les fosses, d'y ire des piliers, et d'y faire des chaînes ou des arcs en pierres apparentes.
6. Le fond des fosses d'aisances sera fait en forme de cuvette concave.
s angles intérieurs seront effacés par des arrondissements de 0m,25 de rayon.
7. Autant que les localités le permettront, les fosses d'aisances seront con- sur un plan circulaire, elliptique ou rectangulaire.
s permettra point la construction de fosses à angle rentrant, hors le seul cas urface de la fosse serait au moins de 4 mètres carrés de chaque côté de l'angle; il serait pratiqué, de l'un et de l'autre côté, une ouverture d'extraction.
8. Les fosses, quelle que soit leur capacité, ne pourront avoir moins de s de hauteur sous clef.
9. Les fosses seront couvertes par une voûte en plein cintre, ou qui n'en diffé- e d'un tiers de rayon.
10. L'ouverture d'extraction des matières sera placée au milieu de la voûte, que les localités le permettront.
eminée de cette ouverture ne devra point excéder 1m,05 de hauteur, à moins localités n'exigent impérieusement une plus grande hauteur.
11. L'ouverture d'extraction correspondante à une cheminée de 1m,50 au plus eur, ne pourra avoir moins de 1 mètre en longueur sur 0m,65 en largeur.
que cette ouverture correspondra à une cheminée excédant 1m,50 de hauteur, ensions ci-dessus spécifiées seront augmentées, de manière que l'une de ces ions soit égale aux deux tiers de la hauteur de la cheminée.
12. Il sera placé, en outre, à la voûte, dans la partie la plus éloignée du tuyau te et de l'ouverture d'extraction, si elle n'est pas dans le milieu, un tampon dont le diamètre ne pourra être moindre de 0m,50. Ce tampon sera en pierre, dans un châssis en pierre, et garni, dans son milieu, d'un anneau en fer.
13. Néanmoins ce tampon ne sera pas exigible pour les fosses dont la vidange au niveau du rez-de-chaussée, et qui auront, sur ce même sol, des cabinets es avec trémie ou siége sans bonde, et pour celles qui auront une superficie e de 6 mètres dans le fond, et dont l'ouverture d'extraction sera dans le milieu.
14. Le tuyau de chute sera toujours dans le milieu.
liamètre intérieur ne pourra avoir moins de 0m,25 s'il est en terre cuite, et de 'il est en fonte.
15. Il sera établi, parallèlement au tuyau de chute, un tuyau d'évent, lequel duit jusqu'à la hauteur des souches de cheminées de la maison, ou de celles sons contiguës, si elles sont plus élevées.
mètre de ce tuyau d'évent sera de 0m,25 au moins ; s'il passe cette dimension, sera du tampon mobile *t*, *fig.* 80.
16. L'orifice intérieur des tuyaux de chute et d'évent ne pourra être descendu ous des points les plus élevés de l'intrados de la voûte.

§ II. — *Des reconstructions de fosses d'aisances dans les maisons existantes.*

17. Les fosses actuellement pratiquées dans des puits, puisards, égouts an- queducs ou carrières abandonnés, seront comblées ou reconstruites à la pre- idange.
18. Les fosses situées sous le sol des caves, qui n'auraient point communica- nédiate avec l'air extérieur, seront comblées à la première vidange, si l'on ne t établir cette communication.
19. Les fosses actuellement existantes, dont l'ouverture d'extraction, dans les

deux cas déterminés par l'art. 11, n'aurait pas et ne pourrait avoir les [illegible] prescrites par le même article, celles dont la vidange ne peut avoir lieu que [illegible] soupiraux ou des tuyaux, seront comblées à la première vidange.

Art. 20. Les fosses à compartiments ou étranglements seront comblées ou [illegible] struites à la première vidange, si l'on ne peut pas faire disparaître ces étrang[illegible] ou compartiments, et qu'ils soient reconnus dangereux.

Art. 21. Toutes les fosses des maisons existantes, qui seront reconstruites, [illegible] ront suivant le mode prescrit par la première section du présent règlement.

Néanmoins le tuyau d'évent ne pourra être exigé que s'il y a lieu à recons[illegible] des murs en élévation au-dessus de la fosse, ou si ce tuyau peut se placer inté[illegible] ment ou extérieurement, sans altérer la décoration des maisons.

Section III. — *Des réparations des fosses d'aisances.*

Art. 22. Dans toutes les fosses existantes et lors de la première vidange, l'o[illegible] d'extraction sera agrandie, si elle n'a pas les dimensions prescrites par l'article [illegible] la présente ordonnance.

Art. 23. Dans toutes les fosses dont la voûte aura besoin de réparations, il [illegible] établi un tampon mobile, à moins qu'elles ne se trouvent dans les cas d'exception [illegible] vus par l'article 13.

Art. 24. Les piliers isolés, établis dans les fosses, seront supprimés à la pr[illegible] vidange, ou l'intervalle entre les piliers et les murs sera rempli en maçonnerie, [illegible] les fois que le passage entre ces piliers et les murs aura moins de 0m,70 de largeur.

Art. 25. Les étranglements existants dans les fosses, et qui ne laisseraient pas [illegible] passage de 0m,70 au moins de largeur, seront élargis à la première vidange, [illegible] qu'il sera possible.

Art. 26. Lorsque le tuyau de chute ne communiquera avec la fosse que par un cou-loir ayant moins de 1 mètre de largeur, le fond de ce couloir sera établi en glacis [illegible] qu'au fond de la fosse, sous une inclinaison de 45° au moins.

Art. 27. Toute fosse qui laisserait filtrer ses eaux par les murs ou par le fond sera réparée.

Art. 28. Les réparations consistant à faire des rejointoiements, à élargir l'ouverture d'extraction, placer un tampon mobile, rétablir les tuyaux de chute ou d'évent, [illegible] prendre la voûte et les murs, boucher ou élargir des étranglements, réparer le fond des fosses, supprimer des piliers, pourront être faites suivant les procédés employés à la construction première de la fosse.

Art. 29. Les réparations consistant dans la reconstruction entière d'un mur, [illegible] voûte ou du massif du fond des fosses d'aisances ne pourront être faites que suivant le mode indiqué ci-dessus pour les constructions neuves.

Art. 30. Les propriétaires des maisons dont les fosses seront supprimées en vertu de la présente ordonnance seront tenus d'en faire construire de nouvelles, conformément aux dispositions prescrites par les articles de la première section.

Art. 31. Ne seront pas astreints aux constructions ci-dessus déterminées les propriétaires qui, en supprimant les anciennes fosses, y substitueront les appareils connus sous le nom de *fosses mobiles inodores*, ou tous autres appareils que l'administration publique aurait reconnus par la suite pouvoir être employés concurremment avec ceux-ci.

Art. 32. En cas de contravention aux dispositions de la présente ordonnance, [illegible] d'opposition de la part des propriétaires aux mesures prescrites par l'administration, il sera procédé, dans les formes voulues, devant le tribunal de police ou le tribunal civil, suivant la nature de l'affaire.

549. *Composition de quelques maisons d'habitation, et dimensions de leurs différentes pièces.* Les dimensions des maisons rurales sont extraites de la Maison rustique du dix-neuvième siècle.

ɪison de journalier à un simple rez-de-chaussée.

Figure 2, planche II. Plan de la maison.

ne dans laquelle on entre du dehors (4 mètres sur 4 mètres);
ıbre à coucher à deux lits (4 mètres sur 3 mètres);
ıbre à coucher d'enfant (4 mètres sur 2 mètres);
ιe buanderie, avec porte sur le derrière (3 mètres sur 1 mètre);
ι garde-manger;
nes, sous appentis;
ι bûcher, ou lieu fermé pour conserver les outils.

ison a 8 mètres de largeur sur 5 mètres de profondeur dans œuvre, c'est-à-compris les épaisseurs des murs, et une hauteur de 3 mètres, mesurée à la ː du toit.

ison de journalier avec rez-de-chaussée et un étage au-dessus.

Figure 3, planche II. Plan du rez-de-chaussée.

ıine par laquelle on entre du dehors (5 mètres sur 5 mètres);
nderie (3 mètres sur 3 mètres);
ιt garde-manger (2 mètres sur 1 mètre); devant est un petit espace où l'on eut loger quelques outils;
alier pour monter à l'état supérieur, et sous lequel on peut placer une petite ɪrovision de bois;
.rines placées sous un petit appentis.

Figure 4, planche II. Plan du premier étage.

ımbre à coucher à deux lits et un lit d'enfant, avec cheminée;
ιre chambre à coucher;
moire ou tambour fermé.

ιison a 8 mètres de largeur sur 5 mètres de profondeur dans œuvre, et 6 mètres teur sous la naissance du toit.

Maison double de journalier avec étage au-dessus et dépendances.

e disposition donne des habitations plus chaudes et plus éco-ɪues que la précédente.

Figure 5, planche II. Plan du rez-de-chaussée.

rche avec armoire ou rayons pour les outils;
sine (5 mètres sur 4 mètres);
ʹière-cuisine avec four ou buanderie (3 mètres sur 3 mètres);
rde-manger un peu enfoncé en terre, et en partie sous l'escalier E;
cher;
ιit cellier;
rines;
ιt à porcs, à double mur, pour éviter les infiltrations; au-dessus se trouve un poulailler.

Figure 6, planche II. Plan du premier étage.

ambre à coucher à un lit;
ıambre à coucher à deux lits.

Le bâtiment a 8 mètres de profondeur dans œuvre ; il a 16 mètres de face au rez-de-chaussée, 8 mètres pour chaque habitation. Au 1er étage la face n'a plus que ... tres, 4 mètres pour chaque habitation ; les dépendances, qui ont 3 mètres de ... sont disposées sous appentis de chaque côté du corps principal du bâtiment. Le ... principal a 6 mètres de hauteur depuis la naissance du toit. Les dépendances ont ... tres de hauteur.

4° *Maison d'éclusier* (canal du Centre). Elle est destinée à loger la famille de l'éclusier, à recevoir les produits d'un jardin, et à ... une vache et un cochon.

Figure 7, planche II. Plan du rez-de-chaussée.

- A pièce d'entrée à cheminée, contenant un lit, et pouvant servir de salle à ... (5 mètres sur 4 mètres);
- B chambre à coucher contenant deux lits (5 mètres sur 3 mètres);
- C pièce dans laquelle communique le four ; elle peut servir à la fois de cuisine ... salle à manger (3 mètres sur 4 mètres);
- D four de 1^{m},60 de diamètre ;
- E escalier pour descendre à la cave, qui est un berceau régnant sous toute la profondeur de la maison, et qui a 3^{m},10 de largeur sur 2^{m},30 de hauteur ...
- F escalier pour monter au grenier, qui occupe tout le premier étage, et ... peut disposer, au besoin, pour recevoir des lits ;
- GG appentis de 3 mètres sur 5 mètres et 2^{m},50 de hauteur, servant, l'un de ... et l'autre d'écurie pour recevoir deux vaches et deux cochons.

Le rez-de-chaussée a 2^{m},60 de hauteur ; la porte d'entrée a 0^{m},90 de largeur ... fenêtres 0^{m},80 ; le grenier a 2 mètres de hauteur sous le faîte, il est éclairé ... lucarnes rectangulaires placées dans les murs, à l'aplomb de la porte et des fenêtres du rez-de-chaussée.

La maison a 8 mètres de largeur sur 7 mètres de profondeur dans œuvre.

5° *Habitation et dépendances pour un petit cultivateur exploitant 2 à 3 hectares de terre, exerçant un art agricole et mettant ses ... en meules.*

Figure 8, planche II. Plan du rez-de-chaussée.

La partie *abcd* est surmontée d'un étage distribué comme le rez-de-chaussée, et contenant les chambres à coucher. Les parties latérales *adef* et *bcgh* sont des appentis dont la naissance ... niveau du premier étage. Les combles du corps principal et ... appentis, qui ont une assez forte pente, sont encore disposés en greniers, et, au besoin, dans les combles du corps principal, on ... placer des chambres de domestiques.

- A porche d'entrée ;
- B bûcher ;
- C cuisine (6 mètres sur 6 mètres) ;
- D atelier pour placer un métier ou autre machine (4 mètres sur 9 mètres) ;
- E arrière-cuisine ou buanderie (3 mètres sur 4 mètres) ;
- F escalier conduisant au premier étage ;
- O garde-manger ;

asin à fourrage (3 mètres sur 2m,50);
le pour deux ou trois vaches (3 mètres sur 4 mètres);
rie (3 mètres sur 4 mètres); au-dessus de la laiterie et de l'étable se trouve le
ıgasin à paille;
ısin aux outils et instruments, et servant aussi de cellier (3 mètres sur 4 mè-
:s);
ısin aux racines, servant aussi d'air à battre (3 mètres sur 4 mètres); au-
ssus sont des greniers;
it pour deux ou trois porcs (2 mètres sur 2 mètres);
ıes;
ıilier.

ıs principal *abcd* a 10 mètres de largeur sur 9 mètres de profondeur et 6 mè-
ıuteur.
ine et l'atelier sont élevés à 0m,50 au-dessus du sol; le magasin à fourrages,
:rie, l'étable et la porcherie sont au niveau du sol; la laiterie, le cellier et le
ıux racines sont un peu au-dessous.

tite maison de ferme pour un propriétaire-cultivateur exploitant hectares de terre à froment de première classe, et mettant ses en meules.

re 9, planche II. Plan du rez-de-chaussée de toute la ferme.

:e couvert par un petit toit en forme de fronton, reposant sur les deux po-
ıaux *dd'*;
ine par laquelle on entre (4 mètres sur 5 mètres);
bre-cuisine ou buanderie, avec escalier pour monter au premier étage (2 mè-
es sur 3 mètres);
le-manger (4 mètre sur 4 mètre);
: à manger ou de réception (3m,50 sur 4 mètres).
net du fermier (3m,50 sur 4 mètres),

ırtie *a a' a'' a'''* forme le bâtiment d'habitation, qui a un pre-
age pour recevoir le maître et sa famille pendant la nuit; les
iques peuvent coucher dans les combles, qui sont très-élevés
ent en quelque sorte un second étage. Ce bâtiment central a
es de largeur sur 7 de profondeur, et 6 mètres de hauteur
s naissances du toit.

tout le bâtiment central se trouve un étage souterrain auquel
:end par l'escalier B. Cet étage souterrain comprend un four-
:é sous la salle G, un cellier aux boissons placé sous la cui-
la masse du four se trouve dans l'angle de ce cellier; enfin,
:lliers aux racines placés, l'un sous le cabinet I, et l'autre sous
ties E, F, H.

gar aux voitures (4 mètres sur 4 mètres);
:rie (3 mètres sur 4 mètres);
audoir pour la laiterie (4 mètres sur 4m,50);
ble pour cinq ou six vaches (9 mètres sur 4 mètres);
'cherie;
:ines;

V magasin à foin (5 mètres sur 4 mètres);
R sellerie, hache-paille, coffre à avoine (2m,50 sur 4 mètres);
S écurie pour deux chevaux (4 mètres sur 4 mètres);
T aire à battre avec grenier au-dessus (7 mètres sur 4 mètres);
U basse-cour; la partie couverte est divisée en compartiments, l'autre partie n
pas couverte.

Les magasins à paille sont au-dessus de la laiterie, de la sell
de l'écurie. Les combles des bâtiments latéraux sont très-in
et à deux pans, ce qui permet d'y placer les greniers et mag

Z puits ou pompe;
Y tas de fumier;
X fosse à purin.

Au delà du fumier sont rangées les meules de récoltes.

7° *Bâtiments d'habitation et d'exploitation pour une ferme de plaine, où l'on exploite 34 hectares en terres à froment de pre classe, et où l'on récolte, terme moyen, dans un assolement de nées, 390 hectolitres de froment et 210 d'orge, semence déduite, 10 taux métriques de paille et autant de foin. Les bêtes de trait chevaux de taille moyenne; les bêtes de rente, nourries consta l'étable, sont vingt vaches du poids de 350 à 400 kilog., un quatre veaux, six porcs et des oiseaux de basse-cour. Une partie coltes des céréales seule est engrangée, l'autre est mise en meu*

Figure 10, planche II. Plan du rez-de-chaussée de tous les bâtim

La maison d'habitation occupe la partie *a a' a" a'''*; elle a mier étage pour recevoir le personnel de la ferme pendant On peut, au besoin, faire des chambres à coucher de dome dans les combles.

m cuisine (5 mètres sur 5m,50);
n arrière-cuisine servant de fournil et d'échaudoir pour la laiterie, elle conti
calier qui conduit à l'étage supérieur (3 mètres sur 5 mètres);
p salle de réception ou à manger (4m,25 sur 4 mètres);
q cabinet du fermier (4m,25 sur 4 mètres).

Sous ce rez-de-chaussée se trouve un étage demi-souterrain, composé :

1° D'une laiterie voûtée de 5 mètres sur 4m,50, placée sous l'arrière-cuis une partie de la cuisine *m*; on descend à la laiterie par l'escalier *r* situé sous le gar A. La laiterie est garnie de tables en pierre et dallée; un dégorgeoir, co quant avec un puisard, produit l'écoulement des eaux;

2° D'un cellier aux boissons et au charbon, placé sous le cabinet *q*;

3° De deux celliers aux racines et aux pommes de terre, placés, l'un sous la sine *m*, et l'autre sous la salle à manger *p*; on descend aux celliers par l'esc voûté *s*.

A petit hangar, par lequel on entre dans l'arrière-cuisine et descend à la lait
il sert à faire sécher les ustensiles de celle-ci (4 mètres sur 1m,50);

arde-marger (1m,50 sur 1m,50);
able pour les vaches qui vêlent, malades ou à l'engrais, et un taureau (4 mètres sur 6 mètres);
able pour vingt-quatre vaches (14 mètres sur 6m,50);
able pour quatre veaux (2 mètres sur 3 mètres);
duit pour les ustensiles de pansement des vaches;
agasin ou hangar à foin (9 mètres sur 4 mètres);
oits à porcs; I latrines pour les hommes (6 mètres sur 5 mètres);
curie pour trois chevaux (6 mètres sur 4 mètres);
ellerie, hache-paille, coffre à avoine (6 mètres sur 2 mètres);
angar pour les voitures et instruments (8 mètres sur 6 mètres);
range (10 mètres sur 6 mètres);
asse-cour;
ûcher;
atrines pour le fermier et les servantes;
iche à chien;
éservoirs à urines;
uits ou citernes, avec auge pour abreuver les animaux.

tas de fumier et la fosse à purin sont placés en dehors, devant les étables. Les s de récoltes sont également placées en dehors et en vue de la maison d'habitation. tage souterrain a 2m,50 de hauteur, le bâtiment d'habitation 6 mètres, les étables écuries 4 mètres, la grange et le magasin à fourrages 5 mètres.
ite la superficie du terrain occupé par l'établissement est de 7 ares ou 700 mètres s; la façade a 24 mètres de longueur, et la profondeur est de 29m,50.
bâtiment d'habitation couvre 100 mètres carrés, et les bâtiments d'exploita- 400, en tout 500 mètres carrés ou 5 ares. Le magasin à foin et les greniers au- s des étables, des écuries et des hangars présentent une capacité de 400 mètres s, ce qui est suffisant pour loger les fourrages nécessaires pour quatre mois d'hi- age.

Maison de ville composée d'un rez-de-chaussée et d'un premier, r une seule famille. On suppose, comme cela a lieu généralement, l'on ne peut prendre jour que sur deux faces.

Figure 11, planche II. Plan du rez-de-chaussée.

cage de l'escalier (5m,70 sur 2m,75);
vestibule et antichambre (5m,70 sur 2m,50);
office (3m,70 sur 2m,75);
cuisine (5m,30 sur 3m,70);
salle à manger (5m,30 sur 7m,70);
buffet;
serre;
salon (8 mètres sur 7m,70);
chambre à coucher (5m,30 sur 6 mètres, comptés du devant de l'alcôve);
garde-robe;
dégagement avec escalier pour monter à un petit entre-sol placé au-dessus des cabinets;
cabinet de toilette;
armoires.

Le vestibule au rez-de-chaussée, et le palier de l'escalier dans les ges supérieurs doivent, autant que possible, donner entrée à la

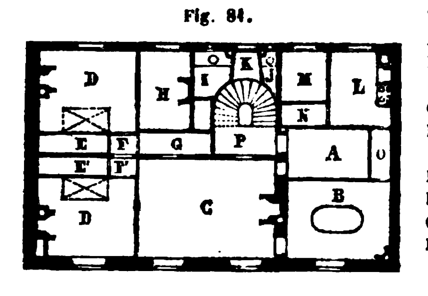
cuisine et à l'antichambre ou pièce d'introduction, et il conviendrait que l'antichambre communiquât directement avec la salle à manger, le salon et la chambre à coucher, afin de rendre toutes les pièces de l'appartement indépendantes les unes des autres.

Figure 12, planche II. Plan du 1er étage.

L antichambre ;
MMMM chambres à coucher ;
NNN chambres de domestiques ;
PPP cabinets ;
OO cabinets d'aisances ;
R escalier conduisant au grenier.

9° M. Moitié, de Coulommier, architecte, nous communique le plan *d'un appartement de ville pour une famille d'une certaine aisance*, qu'il a disposé dans une maison qu'il vient de faire construire à Paris, et qui paraît réunir toutes les commodités désirables. La figure 81 représente ce plan à l'échelle de 3 millimètres pour mètre.

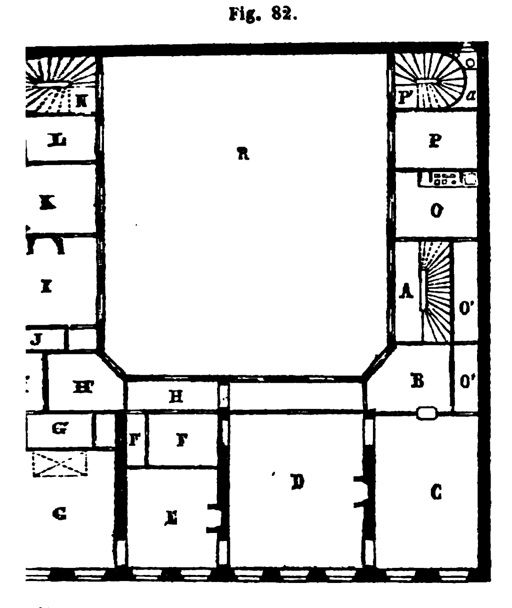
Fig. 81.



P palier (1m,20 sur 2m,[illegible]) ;
A antichambre (3m,55 sur [illegible]) ;
B salle à manger ([illegible] sur 4m,80) ;
C salon (4m,50 sur 6m,15) ;
DD chambres à coucher ([illegible] sur 3m,65) ;
EE' garde-robes (0m,80 sur [illegible]) ;
FF' dégagements ;
G couloir (1 mètre sur 3m,15) ;
H cabinet de travail ou chambre à coucher d'enfant (3m,[illegible] sur 2m,40) ;
I lieux à l'anglaise ;
J cabinet d'aisances pour les domestiques ;
L cuisine (2m,75 sur 3m,30) ;
M office (1m,80 sur 2m,20) ;
N garde-manger (1m,80 sur 1 mètre) ;
Un passage de 0m,80 est destiné au service de la salle à manger ;
K tambour à jour dans toute la hauteur, pour aérer l'escalier, en permettant aux croisées de s'ouvrir. A chaque étage le plancher est profilé, ce qui forme des banquettes destinées à recevoir des corbeilles de fleurs.

10° M. Moitié nous communique également le plan d'un appartement de ville disposé pour une famille riche. La figure 82 en représente la disposition à l'échelle de 3 millimètres pour mètre.

Fig. 82.



A escalier principal (2m,50 sur 4m,50);
B antichambre (4 mèt. sur 3 m.);
C salle à manger (4m,50 sur 6m,90). Un poêle, placé dans la cloison, chauffe la salle à manger et l'antichambre;
D salon (6 mètres sur 7 mètres);
E boudoir de madame ou petit salon (4 mètr. sur 4m,30);
F cabinet dans lequel on pourra mettre un lit de repos ou prendre des bains (3 mètres sur 2m,50);

dégagement;
chambre à coucher de madame (4m,50 sur 5m,30);
garde-robes;
anglaises;
galerie de dégagement;
cabinet de toilette;
atrium ou petite cour donnant de la lumière et de l'air aux cabinets d'aisances;

ile de gauche forme l'appartement de Monsieur :

chambre à coucher (3m,60 sur 4 mètres);
garde-robes et aisances;
cabinet de travail (3m,60 sur 3 mètres);
antichambre (2m,25 sur 2 mètres);
cartonnier;
escalier de service;
aisances pour les gens.

'aile de gauche était destinée à des enfants :

serait la chambre à coucher;
la salle d'étude;
la chambre de la gouvernante;
un cabinet.

e de droite :

cuisine (3m,60 sur 2m,80);
couloir de 1 mètre pour le service de la salle à manger;
office (3m,60 sur 2m,50);

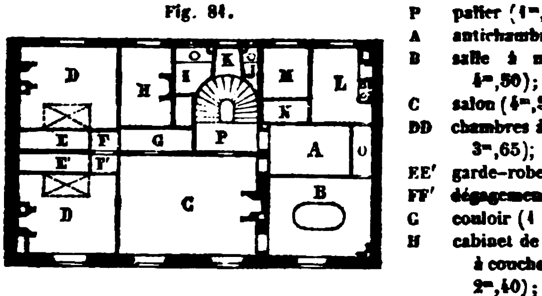
cuisine et à l'antichambre ou pièce d'introduction, et il conviendrait que l'antichambre communiquât directement avec la salle à manger, le salon et la chambre à coucher, afin de rendre toutes les pièces de l'appartement indépendantes les unes des autres.

Figure 12, planche II. Plan du 1er étage.

L antichambre ;
MMMM chambres à coucher ;
NNN chambres de domestiques ;
PPP cabinets ;
OO cabinets d'aisances ;
R escalier conduisant au grenier.

9° M. Moitié, de Coulommier, architecte, nous communique *le plan d'un appartement de ville pour une famille d'une certaine aisance*, qu'il a disposé dans une maison qu'il vient de faire construire à Paris, et qui paraît réunir toutes les commodités désirables. La figure 81 représente ce plan à l'échelle de 3 millimètres pour mètre.

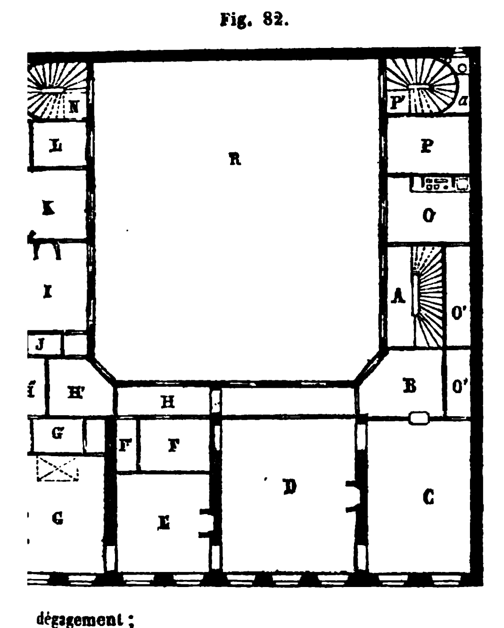
Fig. 81.



P palier (1^{m},20 sur 2^{m},80);
A antichambre (3^{m},55 sur [illegible]);
B salle à manger (3^{m},50 sur 4^{m},50);
C salon (4^{m},50 sur 6^{m},15);
DD chambres à coucher (4^{m},35 sur 3^{m},65);
EE' garde-robes (0^{m},80 sur 3^{m},[illegible]);
FF' dégagements ;
G couloir (1 mètre sur 3^{m},15);
H cabinet de travail ou chambre à coucher d'enfant (3^{m},45 sur 2^{m},40);
I lieux à l'anglaise ;
J cabinet d'aisances pour les domestiques ;
L cuisine (2^{m},75 sur 3^{m},30);
M office (1^{m},80 sur 2^{m},20);
N garde-manger (1^{m},80 sur 1 mètre);
Un passage de 0^{m},80 est destiné au service de la salle à manger ;
K tambour à jour dans toute la hauteur, pour aérer l'escalier, en permettant aux croisées de s'ouvrir. A chaque étage le plancher est profilé, ce qui forme des banquettes destinées à recevoir des corbeilles de fleurs.

10° M. Moitié nous communique également le plan d'un appartement de ville disposé pour une famille riche. La figure 82 en représente la disposition à l'échelle de 3 millimètres pour mètre.

Fig. 82.



A escalier principal (2^m,50 sur 4^m,50);
B antichambre (4 mèt. sur 3 m.);
C salle à manger (4^m,50 sur 6^m,90). Un poêle, placé dans la cloison, chauffe la salle à manger et l'antichambre;
D salon (6 mètres sur 7 mètres);
E boudoir de madame ou petit salon (4 mètr. sur 4^m,30);
F cabinet dans lequel on pourra mettre un lit de repos ou prendre des bains (3 mètres sur 2^m,50);

dégagement;
chambre à coucher de madame (4^m,50 sur 5^m,30);
garde-robes;
anglaises;
galerie de dégagement;
cabinet de toilette;
atrium ou petite cour donnant de la lumière et de l'air aux cabinets d'aisances;

ile de gauche forme l'appartement de Monsieur :

chambre à coucher (3^m,60 sur 4 mètres);
garde-robes et aisances;
cabinet de travail (3^m,60 sur 3 mètres);
antichambre (2^m,25 sur 2 mètres);
cartonnier;
escalier de service;
aisances pour les gens.

'aile de gauche était destinée à des enfants :

serait la chambre à coucher;
la salle d'étude;
la chambre de la gouvernante;
un cabinet.

'e de droite :

cuisine (3^m,60 sur 2^m,80);
couloir de 1 mètre pour le service de la salle à manger;
office (3^m,60 sur 2^m,50);

y reposent facilement; les dalles, les briques, les planches, une couche de béton ou de ciment hydraulique, sont les matériaux qu'il convient d'employer, au moins pour la place où se tient le bétail.

835. *Bergeries*. Les moutons de forte taille, dont 1/4 à 1/5 en brebis portières, et qui ne sont soumis à la tonte qu'une fois par an, exigent 0m,41 de longueur de râtelier chacun, et occupent, en moyenne, 1mq,05 de surface. Ceux qui sont tondus deux fois par an exigent 0m,35 de râtelier et 0mq,95 de surface. Les agneaux de 4, 6 ou 9 mois exigent respectivement 0m,24, 0m,27 et 0m,30 de râtelier. On comprend dans l'estimation de la surface convenable à chaque bête, l'espace nécessaire aux râteliers, aux cloisons de séparation, au passage et aux agneaux.

Les portes et les fenêtres d'une bergerie doivent être vastes, le sol et le bas des murs doivent être cimentés et imperméables. Il serait convenable qu'il y eût, auprès de la bergerie, une petite cour où les moutons pussent aller prendre l'air à volonté. Du reste, il convient, comme pour les étables, de disposer, vers le haut et vers le bas des murs, des ouvertures qui renouvellent constamment l'air de la bergerie. Un magasin de 4 mètres de largeur, sur 12 à 13 mètres de longueur et 4m,50 de hauteur suffit au service journalier des fourrages et racines pour 500 à 800 bêtes, et pendant le temps de la tonte pour tous les travaux de cette opération.

La hauteur d'une bergerie varie de 2m,60 à 3 mètres; elle atteint même quelquefois 4 mètres. Les râteliers sont élevés à 0m,40 ou 0m,50 au-dessus du sol; ils sont inclinés en sens contraire de ceux des chevaux, afin que la poussière ne tombe pas sur les animaux, ce qui nuirait à leur santé et gâterait leur toison. Une petite auge en voliges, fixée au bas du râtelier, retient les parties de nourriture qui peuvent s'en échapper, et permet d'incliner le râtelier en avant, disposition qui rend plus facile aux moutons d'atteindre les dernières parties de fourrage qui s'y trouvent.

836. *Porcheries*. Pour une forte truie, il faut compter sur 3 mètres carrés à 3mq,50 de surface; pour un verrat, sur 2 mètres carrés à 3 mètres carrés; pour un cochonneau, jusqu'à six mois, sur 1 mètre carré, et au-dessus de cet âge, sur 1mq,35 à 1mq,50.

On doit changer souvent la litière d'une porcherie, et faciliter l'écoulement des eaux en inclinant le sol, que l'on doit faire en dalles ou en bois, afin que les porcs ne puissent pas l'attaquer.

Le porc est le seul animal qui, dans les basses-cours ou dans les écuries, a conservé assez d'instinct de propreté pour ne déposer jamais volontairement ses excréments sur la litière où il repose. Le cheval, le bœuf, le mouton, satisfont leurs besoins où ils se trouvent; s'ils sont couchés, ils ne se lèvent point pour fienter, et dorment sur leurs ordures. Le porc, au contraire, quand il est libre dans sa loge,

toujours la place la plus éloignée, et si l'on essaye de l'atta-
l se recule autant que sa longe le lui permet.*

Laiterie et colombier. La température de la laiterie doit être
a peu près, en été comme en hiver. La plus grande propreté
régner.

olombier est généralement une tour ronde ou polygonale, dans
e on dispose des nids pour recevoir les pigeons. Comme le
nier ne descend pas jusqu'au sol, on dispose quelquefois la
, qu'il faut avoir soin de voûter, au rez-de-chaussée. On doit
cette disposition, parce que, malgré toutes les précautions que
ut prendre, l'odeur pénétrante du colombier peut arriver
dans la laiterie.

Granges. Volume et composition des récoltes. Afin que les voi-
hargées des récoltes puissent entrer facilement dans les granges.
ne aux portes, qui sont à deux vantaux, 3m,30 à 4 mètres de
r, sur 4 mètres à 4m,50 de hauteur. Il conviendrait qu'il y eût
ortes, l'une pour l'entrée des voitures chargées, et l'autre, pla-
r le côté opposé de la grange, pour la sortie des voitures dé-
es.

granges ont 8, 10, 12 et même 15 mètres de largeur ; mais
e ces dernières dimensions exigeraient des pièces trop fortes
a charpente, on place des poteaux intermédiaires. Ces poteaux
vantage de soutenir les tas de gerbes quand on dégarnit une
de la grange sans toucher aux autres ; cette disposition permet
de faire les granges plus ou moins larges. La hauteur des
s, sous l'entrait, ne doit pas dépasser 7 à 8 mètres.

r une récolte annuelle de 30 000 gerbes de 6 kilog. chacune ou
0 kilogram. de divers grains, il faudrait deux aires à battre,
acune 12 mètres de longueur sur 4m,50 de largeur et 4m,50 de
ur.

*ume moyen pour les bonnes et mauvaises années, de 100 kilog.
rents produits, au moment des récoltes.*

	m.cu.
1° De gerbe de froment d'hiver.	0,920
2° *id.* de seigle d'hiver.	0,960
3° *id.* de grosse orge.	0,880
4° *id,* d'avoine.	0,900
5° *id.* de pois et vesces.	1,280
6° De trèfle rouge porte-graine.	1,080
7° *id.* blanc.	0,880
8° De foin de trèfle ou de son regain. . . .	0,960
9° *id.* de prairie ou de son regain. . . .	0,920

nd, dans une grange, on accumule plusieurs des cinq premiers
ts, il faut compter, terme moyen, sur 1 mètre cube par 100 ki-

logrammes de gerbes, à cause des séparations qu'il faut laisser [illegible] ces différents produits. On doit compter sur le même volume [illegible] les foins de trèfle ou de prairie et pour leurs regains.

Pendant les premiers temps d'engrangement, les récoltes dimin[illegible] de poids, par suite d'une dessiccation plus complète, et de volum[illegible] par suite du tassement.

Composition moyenne de 100 kilogrammes de gerbes de différents grains.

DÉSIGNATION.	SOL			
	FERTILE.		MOINS FERTILE.	
	Grain.	Paille.	Grain.	Paille.
	kil.	kil.	kil.	kil.
Froment	30	70	40	[illegible]
Seigle	25	75	36	64
Orge	35	65	45	[illegible]
Avoine	30	70	42	[illegible]
Pois et vesces	20	80	24	76

Blé (226 et 552). Dans le nord de la France et les environs de Paris, les gerbes de blé ont au moins 1m,30 de longueur et à peu [illegible] 0m,40 de diamètre; elles pèsent de 10 à 12 kilog., et il en entre [illegible] au mètre cube, dont le poids est approximativement de 100 à 120 kilog. Une gerbe donne 2k,50 à 2k,60 de blé, soit par mètre cube de gerbes, 25 kilog. de blé.

Dans les champs moins fumés, surtout dans les bonnes terres [illegible] blé, dont l'élément argilo-calcaire entretient la fertilité, et [illegible] n'a pas intérêt à stimuler la production de la paille, le rendement en grain est relativement plus élevé; il dépasse ordinairement [illegible] 33 kilog. par mètre cube de gerbes. Dans les contrées méridionales ce rendement est de 30 kilog.

Dans les bonnes terres à blé convenablement fumées, le rendement ordinaire, dans les années favorables, est, par hectare, d'environ 10000 kilog. de gerbes. En admettant le chiffre approximatif de 100 kilog. par mètre cube de gerbes, le rendement par hectare est de 100 mètres cubes; c'est en effet la capacité adoptée pour les granges. Aussi, pour un petit domaine de 30 à 33 hectares, [illegible] habituellement 10 hectares cultivés en blé, la capacité effective de [illegible] grange à blé sera de 1000 mètres cubes, non compris l'emplacement nécessaire au battage, qui aura 6 mètres de longueur, 4m,25 de largeur, et au moins 4 mètres de hauteur, soit 100 mètres cubes de capacité, ce qui porte celle totale de la grange à 1100 mètres cubes. [illegible]

eur de 16 mètres, une largeur de 9 mètres, et une hauteur de donnent un cube de 1123 mètres. Ces dimensions conviendront, onséquent, pour la grange à blé de la ferme en question.

iauteur des portes de granges doit être au moins égale à celle oitures chargées de gerbes, qui atteint souvent jusqu'à 4m,30.

r le *seigle*, le rendement en grain et en paille est, en poids brut, litions égales sous tous les rapports, d'environ 0,1 en sus de des variétés communes de froment; c'est-à-dire que quand ci rend 9 quintaux de gerbes à l'hectare, le seigle, dans les s circonstances, en donne environ 10.

e. Dans les bonnes terres, on peut compter, pour les orges d'hi- ur 36 à 40 hectol. à l'hectare, et pour les orges de printemps, à 36 hectol. Le rapport du grain à la paille, dans les bonnes ré- d'orge, est, sans compter le chaume, ordinairement celui 2, au lieu que pour le froment, il varie entre 1/3, 1/4 et même . L'hectolitre d'orge pèse 64 kilog., au lieu que celui du blé 6 kilog.

ine. C'est surtout dans les terres entièrement neuves, telles que provenant des défrichements de landes, du desséchement des s, etc., que l'avoine donne des produits abondants. Dans ce ainsi que dans ceux où la culture, en terrains ordinaires, est nement soignée, elle donne fréquemment 45 à 48 hectol. à l'hec- et une proportion correspondante de paille, excellente pour la iture des bestiaux. Le poids moyen de l'hectolitre d'avoine est kilog. Quant à la pratique arriérée, et encore très-répandue en e, de placer constamment et indéfiniment l'avoine, dans le ne triennal, à la suite d'un blé, bien ou mal fumé, elle est des icieuses et ne donne que des produits très-minimes, qui n'at- nt que rarement 15 ou 20 hectolitres.

n. Les prés non arrosés, mais convenablement situés et soi- ont un rendement ordinaire qui varie, par hectare, de 600 à ottes de foin de chacune 5 kilog.

erne. Quand les conditions les plus favorables se trouvent rem- en ce qui touche le terrain, le climat, etc., le rendement de la re est énorme; elle peut donner jusqu'à 5 coupes, dont la nne est, en foin sec, d'environ 2600 kilog. par hectare, soit kilog. pour les 5 coupes. En fourrage vert, le produit est au triple. Dans le climat de Paris on obtient, en 3 coupes, à peu noitié de ce produit.

fle. Dans la plupart des cantons de la région moyenne, où le se cultive aujourd'hui très en grand, on ne peut compter que eux bonnes coupes, dont la première est toujours la plus abon- . Le produit de ces deux coupes réunies ne va guère, moyen- nt, au delà de 6000 kilog. de fourrage sec par hectare. Vert, le

produit est presque quadruple. Comme la luzerne, le trèfle perd
0,76 à 0,80 d'eau en séchant.

559. *Battage du blé.* Un batteur de bonne force peut battre, dans sa journée de 8 à 9 heures de travail, 800 à 850 kilog. de gerbes, rendant moyennement 2h,40 à 3 hectol. de grain. Il est payé moyennement 1 fr. à 1f,25 par hectol.; il a frappé dans sa journée de ... à 12 000 coups de fléau représentant chacun au moins 7km de travail.

Aujourd'hui l'on fait un grand usage des machines à battre. ... de ces machines, y compris son manége à 2 chevaux, coûte 800 ...; elle bat en bout et fournit, en 10 heures de travail, pour une longueur moyenne 1m,15 de gerbe, 35 à 40 hectol. de blé non nettoyé. Elle est desservie par 5 personnes.

La même machine, avec manége à 3 chevaux, coûte 1000 fr.; elle est desservie par 6 personnes au moins, et elle produit de ... 60 hectol. de blé en 10 heures.

Les machines précédentes, montées sur roues, coûtent 200 fr. de plus, soit 110 fr. pour le manége et 90 fr. pour la batteuse.

Une machine battant en travers et nettoyant le blé, montée sur roues, ainsi que son manége, qui est à 3 chevaux, coûte 2000 fr.; elle est desservie par 3 personnes, et elle produit au moins 25 hectol. de blé en 10 heures.

En France, on construit beaucoup de machines dont le manége est à 4 chevaux; elles battent ordinairement, à l'heure, 300 gerbes de blé, correspondant à un rendement de 7h,5, soit 75 hectol. de blé par jour de 10 heures de travail. Le cylindre batteur, qui a 1m,20 de longueur et 0m,50 de diamètre, fait 900 tours à la minute.

La même machine peut battre le seigle et l'avoine en travaillant à peu près à la même vitesse que pour le blé. Pour l'avoine, son produit est de 500 à 550 gerbes à l'heure, ce qui donne 13 à 15 hectol., soit 130 à 150 hectol. par jour.

Dans ces derniers temps, on a souvent substitué au manége des machines locomobiles de la force de 4 à 6 chevaux, et même, dans quelques grandes exploitations, des machines à vapeur fixes. Le prix total du battage et nettoyage revient à environ 0f,70 l'hectolitre quand on fait usage de la vapeur (226 et 552).

560. *Ferme. Son bétail.* Un domaine d'environ 100 hectares, situé dans un bon territoire, d'un climat analogue à celui du centre de la France, est placé dans de bonnes conditions si l'on peut y nourrir par hectare, en grande culture, une tête de gros bétail, ou l'équivalent en menu bétail. Comme il faut déduire environ 10 hectares pour terrain bâti, cours, jardins, pépinières, chemins, etc., le domaine pourra donc nourrir 90 têtes de gros bétail. Il y aura environ le 1/4, soit 20 à 25 hectares en prés naturels.

petites fermes de 40 à 50 hectares ont des cours de 4 à 5 ares perficie ; les fermes moyennes de 60 à 100 hectares ont de 7 à ›s en cour, et dans les fermes de plus de 100 hectares, on ne nieux faire que de réserver de vastes cours de 25 à 30 ares.

561. *Eau nécessaire pour une ferme* (Maison rustique du XIX[e] siècle).

DÉSIGNATION DES INDIVIDUS.	CONSOMMATION journalière.	CONSOMMATION annuelle.
	litres.	mèt. cub.
›ersonne adulte pour tous ses besoins.	40	3.60
heval de taille moyenne, nourri avec des aliments ›s, y compris l'eau nécessaire au pansement et au ›age des écuries et des harnais	50	18.00
›ête à cornes nourrie en vert une partie de l'année, ompris l'eau nécessaire au pansement et au nettoyage ; étables	30	11.00
noutons, qui pâturent une partie de l'année et re- ›vent souvent des racines en hiver, tout compris. . .	2	0.73
orcs, qui consomment en partie en boisson les eaux ménage domestique, peuvent être abreuvés et net- ›és (par tête) avec	5	1.80

aide de ce tableau, on déterminera facilement la quantité d'eau ›saire aux besoins d'une ferme quelconque (194).

MATERIAUX EMPLOYÉS DANS LES CONSTRUCTIONS.

. *Division géologique des terrains.* Avant de commencer l'étude ›atériaux employés dans les constructions, nous croyons conve- de donner la classification des terrains composant l'écorce ale du globe, afin d'être guidé dans la recherche des gisements matériaux.

Série des divisions de terrains admises aujourd'hui par les géologues, avec les minéraux principales roches qui les composent et le système de soulèvement qui les caractérise. Les formations sont rangées dans l'ordre descendant, c'est-à-dire en commençant par les plus modernes.

1er GROUPE. — Formation contemporaine.

Terrains d'alluvion qui remplissent les vallées de ...
Volcans modernes éteints et brûlants. Les ... cans des Andes ont été soulevés pendant ...

TERRAIN TERTIAIRE.

2e GROUPE. — Terrain tertiaire supérieur.

Système de la chaîne principale des Alpes ... — Couches de sables et alluvions ancien... ments fossiles. Les éruptions de ... saltes correspondent en grande partie ...

3e GROUPE. — Terrain tertiaire moyen.

Système des Alpes occidentales. — Calcaire d'eau douce avec meulières ; ... des lignites. Grès de Fontainebleau.

4e GROUPE. — Terrain tertiaire inférieur.

Système des îles de Corse et de Sardaigne ... — Marne avec gypse, ossements de mammifères ... Calcaire grossier. Argile plastique avec lignites.

TERRAIN SECONDAIRE.

5e GROUPE. — Terrain crétacé supérieur.

Système de la chaîne des Pyrénées et de celle des Apennins. — Assise calcaire puissante, appelée la craie ... position de couches de silex.

6e GROUPE. — Terrain crétacé inférieur.

Système du mont Viso. ... — Grès tuffeau de la Touraine. Grès ordinairement verdâtre, ce qui lui a ... nom de *grès vert*. Sables ferrugineux.

7e GROUPE. — Terrain jurassique.

Système de la Côte-d'Or. ... — Couches calcaires, plus ou moins ... reuses, alternant avec des couches ... divisé en plusieurs étages. Les étages ... tent le nom de *calcaire oolithique*. L'étage ... appelé *lias*. Grès inférieur ou *lias*.

8e GROUPE. — Terrain de trias.

Système de Thüringerwald. ... — Marnes de couleurs variées, qu'on appelle ... ... renfermant souvent des amas de gypse ... Calcaire très-coquillier, auquel on donne ... muschelkalk. Grès de couleur variée, qui est appelé *grès* ...

9e GROUPE. — Terrain du grès des Vosges.

Système du Rhin ... — Poudingues et grès.

10e GROUPE. — Terrain pénéen.

Système des Pays-Bas et du pays de Galles ... — Assise de calcaire mêlée de schiste ... zechstein. Assise de pouding et de grès appelé ... *rouge*.

11ᵉ GROUPE. — Terrain carbonifère.

stème du nord de l'Angleterre.	Grès, schistes avec couches de houille et de fer carbonaté. Calcaire carbonifère ou calcaire bleu, avec couches de houille.

12ᵉ GROUPE. — Terrain devonien.

stème des ballons des Vosges et des collines du bocage de la Normandie.	Couches puissantes de grès appelé *vieux grès rouge*, renfermant des couches d'anthracite.

13ᵉ GROUPE. — Terrain silurien.

. . . .	Calcaire, schiste ardoisier, grès à gros grains appelé *grauwacke*.

14ᵉ GROUPE. — Terrain cambrien.

stème du Westmoreland et du Hundsruck, en Écosse. . . .	Calcaire compacte, schiste argileux. Ces roches ont souvent une texture cristalline.

15ᵉ GROUPE. — Roches primitives.

. . . .	Granits et gneiss formant la base principale de la partie intérieure du globe accessible à nos moyens d'observation.

3. *Pierres naturelles.* Rondelet, dans son *Traité sur l'art de* ·, divise les pierres naturelles en quatre classes qui comment :

première classe, les pierres argileuses, magnésiennes, etc., à-dire les asbestes ou amiantes, les micas, les vrais talcs, les es ollaires, les schistes ou ardoises de différentes espèces, et les es appelées *de corne*; cette première classe comprend aussi les ltes, les pierres de touche, les pierres à rasoirs, et une foule tres qui ne sont pas en usage dans l'art de bâtir. Les caractères nctifs de ces pierres sont de ne pas faire effervescence avec les es, de durcir au feu ordinaire, et de ne se réduire ni en chaux n plâtre.

deuxième classe, les pierres calcaires, qui sont celles dont ge est le plus fréquent dans les constructions. Elles se réduisent haux par l'action du feu, elles font effervescence avec les acides, lesquels elles se dissolvent presque complétement; elles ne nent pas d'étincelles sur le briquet. Les pierres à bâtir employées ris et dans presque toute la France sont calcaires (569).

troisième classe, les pierres gypseuses, pierres que l'on ne peut ser, même comme moellons, dans les constructions, à cause de peu de consistance et de leur décomposition par l'humidité; si est-il défendu de les employer à Paris, surtout pour la conction des bâtiments; on s'en sert quelquefois pour les murs de ure. Exposées à l'action de la chaleur, ces pierres fournissent le

plâtre. Elles ne font pas effervescence avec les acides, et ne donn
aucune étincelle par le choc de l'acier.

La *quatrième classe*, les pierres scintillantes. Ces pierres, qui
nent des étincelles par le choc du briquet, ne font aucune eff
cence avec les acides; elles comprennent les grès, les silex, l
pierres meulières, les granits, les porphyres et les basaltes.

Les grès purs, les pierres à briquet et les pierres meulières ré
tent au feu le plus violent; les granits, les porphyres et les laves
vitrifient à un grand feu.

Les pierres naturelles les plus employées en France sont les
nits, les *trachytes*, les *basaltes*, les *laves*, les *grès*, les *silex*
loux et *poudings*, les *meulières* et surtout les *calcaires*. On fait
usage des *trapps*, des *laitiers*, des *scories* et autres produits v
niques, lesquels, unis à la chaux, lui communiquent, comme
meilleurs ciments, la propriété de durcir sous l'eau et de prod
d'excellents bétons. Mais ces matériaux ne sont que des accide
la nature que l'on ne rencontre que dans quelques localités, où
lement on les emploie, leur prix étant trop élevé ailleurs.

864. Le *granit*, qui constitue la plus grande partie du terrai
mitif, est formé par l'agglomération de trois minéraux: le
spath, le mica et le quartz. Il présente différentes nuances, qui
dues à ce que ces minéraux sont souvent colorés par la pré
d'une petite quantité d'oxyde de fer ou de manganèse. La prop
des trois minéraux varie d'un granit à l'autre. Lorsque le feld
domine beaucoup, la roche prend le nom de *granit porphyr*

Les *porphyres* sont des granits dans lesquels le quartz et le mi
manquent entièrement: ils sont composés d'une pâte feldspath
dans laquelle se sont formés des cristaux de feldspath.

Il se trouve du porphyre rouge et du vert, le premier est ta
jaune dans la variété dite brocatelle d'Égypte. Le porphyre vert
appelé ophite ou serpentin, à cause de sa ressemblance avec la p
de certains serpents.

En France on rencontre le porphyre à Châteaubriand (Loire-In
rieure), dans les montagnes de l'Esterel et du Puget (Var), prè
Remiremont (Vosges).

La dureté du porphyre étant plus grande encore que celle du gra
elle ne permet pas de le tailler; mais, dans quelques contrées,
emploie cette pierre en moellons. Cependant les anciens en ont
des colonnes, des vases, des monuments funéraires, des stat
et, aujourd'hui, M. Colin, dans son usine d'Épinal, travaille d
porphyres, dits *mélaphyres*, tirés de Belfahy et de Ternuay (Ha
Saône). Le dernier, qui a été employé au tombeau de l'empereur
une très-belle couleur verte; celui de Belfahy est d'un vert noirâ
dans lequel se trouvent disséminées des marques de cristaux

es de feldspath labrador; il rappelle le porphyre vert antique de
·èce. M. Colin travaille aussi la syénite, qu'il extrait de Saint-
·ice; elle est connue sous le nom de *granit feuille morte*; on l'a
loyée pour daller le portique du Panthéon. Enfin, sans parler
pierres calcaires, on travaille encore à l'usine d'Épinal différents
its tirés principalement de Cornimont, de la vallée de la Bresse,
'holy et de Clefcy.

s lames de mica disséminées dans le granit sont quelquefois dis-
es parallèlement à un même plan, et donnent ainsi un aspect
steux ou rubané à la roche. Celle-ci prend le nom de *gneiss*.

s *trachytes* sont des produits volcaniques d'une époque ancienne,
paraissent ne pas avoir toujours coulé; ils se sont fréquemment
ès du sein de la terre à l'état pâteux, et ont formé des montagnes
ndies; d'autres fois, ils se sont répandus sur un sol horizontal,
forme de nappes épaisses. La pâte des trachytes est du feld-
h; elle renferme beaucoup de cristaux de feldspath, qui ont
ent pris un grand dévelopement et présentent des faces cristal-
s très-nettes.

ans quelques localités de la province de Constantine (Algérie), on
loie un porphyre trachytique comme pierre à bâtir.

es *basaltes* sont des éruptions volcaniques plus modernes que les
chytes. Ils sont composés de *pyroxène* (silicate de magnésie et de
et de *labrador* (espèce de feldspath à base d'alumine, de chaux
e soude). Ces cristaux sont d'une extrême ténuité, ce qui donne
roche une apparence de compacité, et lui permet de prendre un
u poli.

uelquefois le basalte s'est fait jour à travers les couches de sédi-
nt, et s'est répandu en nappes horizontales à leur surface. Les
altes forment ordinairement des prismes accolés, gigantesques,
présentent une apparence de régularité. Cette circonstance tient
n fendillement qu'ils ont éprouvé pendant leur refroidissement.
disposition en colonnes prismatiques donne aux basaltes qui sont
ivés au jour un aspect particulier; c'est ce qui a lieu à Saint-
ère, près Agde, et dans le Puy-de-Dôme, près Clermont; on en
uve même en Italie, du côté de Padoue, qu'on avait pris pour des
numents étrusques.

es basaltes sont trop durs pour être taillés; mais dans quelques
alités on en fait des moellons.

Dans l'art des constructions, on désigne en général sous le nom de
nit toutes les pierres provenant de roches feldspathiques, dont la
nde dureté varie avec les proportions des parties constituantes,
dont les grains, de différentes couleurs, sont fortement réunis
un ciment naturel. On les reconnaît facilement à leur composi-

tion de grains très-durs et parfaitement adhérents, à leur cassure à angles très-aigus, et à leur poids minimum de 2 700 kilogrammes par mètre cube.

La résistance que les granits offrent à tous les agents atmosphériques rend leur emploi très-avantageux dans les constructions; aussi, dans quelques localités, malgré le prix élevé de leur taille, en fait-on usage comme pierre à bâtir, si toutefois leur exploitation n'est pas trop dispendieuse. Il est du reste certaines contrées où la composition géologique du sol motive l'emploi des granits dans les constructions; c'est ainsi que dans certaines parties de la Bretagne, de la Normandie, et des Vosges l'usage de cette pierre, qui fournit d'excellents moellons, est très-répandu. En France plusieurs ponts sont en granit, et en Angleterre c'est la seule pierre employée pour la construction des grands ponts; ceux de moindre importance sont en briques.

La grande durée et l'inaltérabilité des granits les rendent très précieux pour certains travaux, et en ont fait adopter l'usage à de grandes distances des lieux d'extraction. Ainsi à Paris, pour dalles, bordures de trottoirs, bouches d'égouts, marches d'escaliers fréquentés, bornes, auges, culières, etc., on emploie des granits, qu' l'on tire principalement des carrières de Normandie. Ceux que l' préfère sont gris, fortement micacés et à grain fin, et proviennent des bancs les plus durs des carrières de Saint-Brieuc et de divers lieux des environs de Vire (Calvados), tels que Saint-Pois, Coulouvray, V 'ledieu, Saint-Clair, et aussi de Sainte-Honorine-la-Guillaume. On trouve aussi d'excellents granits dans les carrières du bois du Gast, près de Saint-Sever, et dans celles de Flamanville, près Cherbourg.

Le granit de Flamanville offre un mélange de grains blancs, n et gris; ceux de Vire et de Saint-Honorine sont un mélange gris bl de grains bleuâtres et noirs.

Les granits de qualités inférieures ressemblent à un granit nâtre à grains peu adhérents de Reville, près Cherbourg, ou au granit jaune rougeâtre des environs de Vire et de Sainte-Honorine ou encore à celui blanchâtre du Gast.

Dans les environs d'Alençon, de Saint-Brieuc, Honuion, Trenier, nan et Saint-Malo, on trouve un granit d'une qualité inférieure, couleur blanche et son aspect feuilleté le font facilement reconnaî

En Bourgogne, on trouve aussi des granits d'une assez bonne qualité, quoique un peu plus tendres que ceux de Normandie; leur couleur tire sur le rouge, et leur cassure est bien moins luisante que celle de ces derniers. Ce n'est que par suite d'une très-grande expérience que l'on parvient à distinguer les granits de Bourgogne de ceux de Normandie.

trouve également le granit dans presque toutes les autres con-
de la France; mais c'est surtout dans la Bretagne, l'Auvergne, osges, les Pyrénées et les Alpes qu'on le rencontre en grande dance.

ause de la grande distance de Paris aux lieux d'extraction du t, les blocs qui y sont expédiés sont ordinairement taillés aux ères suivant les formes voulues, afin de réduire autant que pos- les frais de transport, ainsi que ceux de main-d'œuvre, uche et de taille. On gagne ainsi le transport de tous les rési- d'abatage et de taille, et la différence entre les prix de main- vre à Paris et en carrière; ce qui n'est pas sans importance, le du granit à Paris dépendant surtout du transport et de la taille.

exploitation des granits se fait généralement au moyen de coins, se taillent avec des pics, des pointerolles et des marteaux. Leur de revient à Paris est de 180 à 250 fr. le mètre cube pour les blocs inés aux monuments, et de 160 à 180 fr. le mètre cube pour les es à un parement, telles que celles de trottoirs par exemple. Le sport entre dans ces prix pour 60 à 65 fr.; mais il y a lieu d'es- er que cette dépense sera réduite lorsque le réseau des chemins er normands sera entièrement achevé.

y a quelques années on a commencé à appliquer un granit belge, porphyre de Lessines, au pavage des rues de Paris. Ces pavés ont antage de ne pas s'égrener comme le font certains grès, et ils istent très-bien à l'air, aux chocs et à l'écrasement; mais, de me que toutes les roches feldspathiques employées au pavage, ils ont l'inconvénient de se polir par l'usure et de devenir très-glis- nts. On ne remédie à ce défaut qu'en leur donnant de petites dimen- ns : les pieds des chevaux trouvent appui par la multiplicité des nts. Ils ont $0^m,15$ à $0^m,18$ de côté et $0^m,10$ d'épaisseur. Non retaillés, coûtent de 90 à 110 fr. le cent.

Brisés en fragments, les bons granits, de même que les porphyres ges, produisent d'excellents matériaux pour l'établissement des aussées à la macadam; mais leur prix élevé, de 25 à 30 fr. le tre cube à Paris, en limite l'emploi.

565. On donne le nom de *laves* aux matières minérales liquides i sont encore rejetées par nos volcans actuels; elles s'étendent en ppes minces sur les flancs des volcans, où elles se solidifient en froidissant.

Les *laves d'Auvergne* ont quelque analogie avec les granits (564); les sont d'un grain plus fin, mais moins serré; leur couleur, d'un oir très-foncé, les fait facilement reconnaître. Les meilleures laves oviennent des bancs les plus durs et les plus compactes des car- ères de Volvic; leur grain serré et homogène les rend pesantes et ès-convenables pour le dallage des trottoirs.

Recouvertes d'un émail appliqué à chaud, ou d'un bon vernis, les laves présentent de grands avantages sous le rapport de la propreté et de la salubrité, quand elles sont employées pour revêtir des soubassements humides ou des urinoirs. A Paris, cette application est généralement ordonnée par l'administration municipale.

Le département de l'Hérault fournit des laves fréquemment employées comme pierre à bâtir. La ville et le port d'Agde sont presque entièrement construits avec ces laves, soit en pierres de taille, soit en moellons. On en a fait usage sur une grande échelle pour les travaux du canal et des chemins de fer du Midi.

566. Le *grès* est une pierre composée de grains de sable quartzeux de différentes figures agglutinés par un ciment quartzeux ou calcaire. Quelquefois, les grains de quartz sont simplement soudés ensemble. De l'argile ou de l'argilite se mêle souvent au grès, qui est alors plus facile à tailler, mais plus friable.

Sous le rapport de la composition du ciment, les grès se divisent en *grès siliceux*, *grès calcaire* et *grès argileux*.

Les *grès siliceux* sont ordinairement très-durs et à grains fins fortement reliés par le ciment naturel; ils approchent du quartz gris. Il en est cependant que l'on peut tailler et même sculpter : ainsi la belle cathédrale gothique de Cologne est en grès siliceux de Wurtemberg. Les grès siliceux ont sur les calcaires l'avantage de mieux résister à l'action destructive de l'atmosphère, et l'on peut presque dire que leur durée est indéfinie.

Les *grès calcaires* ont différents degrés de dureté, en raison de l'abondance et du plus ou moins de fermeté du gluten calcaire qui réunit leurs grains.

Les *grès argileux* se trouvent par couches comme les calcaires; ils sont d'un usage très-répandu dans les provinces du sud-est de la France, où on les désigne ordinairement sous le nom de *molasse*. Leur couleur est grise. On les taille facilement au moment de l'extraction; mais à l'air ils acquièrent une dureté qui ne le cède guère à celle des pierres calcaires les plus résistantes.

Les grès se trouvent dans tous les terrains géologiques; mais ils sont surtout abondants dans les terrains secondaires. En général, les meilleurs grès sont ceux qui ont le grain le plus fin et le tissu le plus serré. La couleur gris clair est un indice de bonne qualité; les grès rouges sont ordinairement les plus tendres et les moins résistants.

Il existe des grès tendres d'une formation trop récente pour qu'ils aient atteint leur degré de perfection. Ils s'écrasent si facilement qu'on ne peut les employer comme pierre de construction; ils ne servent qu'à l'affutage des outils ou à faire du sablon.

Dans les pays où il n'y a pas de bonne pierre calcaire, on fait usage

les constructions de grès dont la dureté convient à de bons moel-
et même à d'excellentes pierres de taille. Ainsi, des carrières
:s près d'Ascain (Basses-Pyrénées) produisent de magnifiques
de grès que l'on a employés avec avantage aux constructions
iare de Biarritz; du pont de Saint-Esprit, sur l'Adour; du pont
u sur la Nive, à Bayonne, etc. De ces mêmes carrières, on tire
des quantités considérables de pavés pour les villes des Basses-
iées et autres départements limitrophes. Dans plusieurs autres
ées de la France, on emploie également les grès avec beaucoup
ccès pour les constructions; des villes entières, telles que Car-
nne, Brives, etc., sont bâties avec cette pierre, qui a été em-
e dans une grande partie des ouvrages d'art du canal et du
in de fer du Midi, ainsi que pour les ponts de Nevers et de
ns, et aussi dans un grand nombre d'édifices publics et parti-
rs; on en construit également des chaînes et des encoignures
timents, des marches d'escalier, des dalles, etc. Les montagnes
osges contiennent plusieurs espèces de grès employées dans les
ructions; le soubassement du Palais de l'Industrie, à Paris, est
ès bigarré des environs de Phalsbourg, qui supporte la sculp-
et dont on peut même faire des statues. Le *grès bigarré* des Voi-
(Vosges) s'exploite en *laves* assez minces pour être employé à la
erture; les plus belles variétés se réduisent à l'épaisseur d'une
ardoise. Ces *laves* ont l'inconvénient d'être cassantes et de don-
les couvertures très-lourdes.

s grès servent à faire des meules à aiguiser, et il en est de très-
s, à gros grains, que l'on emploie pour faire des meules de
ins.

a des grès qui sont tellement réfractaires, qu'on les emploie
les revêtements intérieurs des hauts fourneaux; c'est ce qui a
pour quelques grès de Wurtemberg.

s grès très-durs sont trop difficiles à tailler pour être employés
ne pierre à bâtir; mais comme ils ont beaucoup de cohésion et
s résistent bien aux chocs, on en fait un usage considérable
ne pavés. Ces grès sont généralement blancs, et leur grain est
et fin; ils se trouvent en bancs continus ou en grosses masses
es au milieu d'un sablon fin et mobile, qui prend, en s'aggluti-
de plus en plus, la consistance des grès les plus vifs et les plus
ces. Ils ont l'avantage de réunir à une grande dureté, qui les
capables de résister longtemps au frottement et aux chocs des
s des voitures, la propriété de se laisser débiter facilement en
es de différentes formes et de toutes grandeurs.

s belles carrières de grès des environs de Toulon fournissent les
s employés au pavage de Marseille et des villes du Var et dépar-
nts voisins; on en exporte même jusqu'en Algérie.

ville de Paris prescrivent-ils cette pierre à l'exclusion de toute autre.

L'autre espèce de meulière se trouve par petits morceaux, en masses de peu d'épaisseur et d'étendue, à une très-faible profondeur, et quelquefois même à la surface du sol. Sa couleur est d'un rouge jaunâtre ; l'énorme quantité de trous dont elle est criblée, et les grandes irrégularités qui existent dans ses lits, en font d'excellents moellons qui se relient bien entre eux, auxquels le mortier s'attache fortement en s'insinuant dans toutes les cavités, et qui résistent sans altération à toutes les influences atmosphériques.

On emploie beaucoup cette meulière dans les constructions hydrauliques. A Paris, une ordonnance de police prescrit son emploi pour l'établissement des murs de fosses d'aisances, et presque tous les égouts de cette ville sont faits avec cette pierre. Les parements de plusieurs édifices publics sont exécutés en meulière rocaillée; les parements de douelle des ponts Napoléon, d'Austerlitz, des Invalides, de l'Alma et du Petit-Pont, nouvellement construits à Paris, sont en meulières piquées posées avec du ciment de Vassy ; tous les parements vus de l'escarpe et de la contrescarpe des fortifications de Paris sont également construits avec ces matériaux, sur une épaisseur de 0m,50.

Les meilleures meulières que l'on emploie à Paris viennent, par la haute Seine, des environs de Corbeil et de Châtillon, et par la basse Seine des environs de Mantes et de Triel; on en extrait aussi de la Ferté-sous-Jouarre, localité où l'on fabrique avec cette pierre des meules de moulins sur une très-grande échelle ; les carrières de Villeneuve-Saint-Georges et de Montgeron fournissent également des meulières qui ont toutes les qualités désirables.

Il arrive aussi à Paris des meulières tendres des environs de Versailles et de Buch, ainsi que de Brunoy. On les extrait en blocs de grandes dimensions, et on les taille facilement. Comme elles fournissent des parements d'une belle régularité, on les emploie souvent en remplacement de la pierre de taille; les parements des murs de quais que l'on construit aujourd'hui à Paris sont presque tous faits, sur une épaisseur de 0m,35, avec des moellons de cette meulière, parfaitement dressés et piqués à vive arête. Ces pierres ont cependant un grand inconvénient lorsqu'elles sont employées trop tendres en parements, surtout si elles n'ont pas préalablement été nettoyées avec soin des terres rougeâtres qui en remplissent les cavités ; quelques années après l'exécution, la surface des parements se recouvre d'une couche verdâtre et bien souvent de touffes d'herbes qui y ont pris racine ; ce qui est d'un effet désagréable, et ne doit pas peu contribuer à amener la ruine de ces parements, en y entretenant l'humidité et en donnant prise aux effets destructeurs de l'atmosphère, de la gelée, par exemple, qui les fait éclater.

parements en meulière dure de Corbeil et de Châtillon sont ables à ceux faits de ces dernières, quand on les exécute oin.

résidus de pierre meulière faits à la carrière ou sur les ers sont cassés en petits morceaux, que l'on emploie pour errement des chaussées ou pour la fabrication du béton. s le macadamisage des principales artères de la capitale, le e ces matériaux y a augmenté dans une notable proportion.

. *Calcaires.* Ces pierres étant formées de carbonate de chaux, jouissent des propriétés générales de cette substance; ainsi ont effervescence avec les acides, elles se décomposent à une ne température, quoique étant très-réfractaires, et elles ne isent point d'étincelles sous le choc de l'acier. On en dis- e de plusieurs espèces, dont aucune n'est particulière à tel ou rain.

pèce dite *calcaire grossier* fournit une grande partie des s employées dans les constructions; elle est d'une texture ise, à grain grossier, souvent lâche; sa cassure est droite et uefois raboteuse, et sa couleur varie du jaune pur au blanc

tte espèce de roche est celle qui a fourni et qui donne encore esque totalité des pierres de construction de notre capitale, et bien certainement en partie à sa présence, en masses énormes es à une faible profondeur sur les deux rives de la Seine, que doit ses proportions colossales.

us le rapport de leur emploi dans les constructions, les pierres ires se divisent en deux classes principales: les *pierres dures*, s *pierres tendres*.

0. *Pierres calcaires dures.* Ces pierres se débitent à la scie sans s, comme le marbre, au moyen de l'eau et du grès tendre réduit en fin. Celles des environs des Paris sont le *liais*, le *cliquart*, la , et le *bancfranc*.

liais est d'une formation moderne; il a l'avantage de ne con- aucune empreinte de coquilles, ni de mer ni fluviatiles, et, en , de réunir toutes les qualités d'une bonne pierre de taille; il ille assez bien, et il résiste à toutes les intempéries des saisons d il été tiré de la carrière en temps convenable; il est sujet à lée quand il est employé avant d'avoir essuyé son eau de ère.

distingue trois espèces de liais:

Le *liais dur*, dont le grain est fin, et la texture compacte et uni- e; c'est une des plus belles pierres des environs de Paris. Les ennes carrières de la barrière Saint-Jacques et du clos des rtreux étant épuisées, on l'extrait maintenant des plaines de

Bagneux et d'Arcueil ; on en tire aussi de Saint-Denis ; les carr de Clamart en fournissent aussi quelques beaux morceau hauteur de son banc varie de 25 à 30 centimètres, et l'on en ex des blocs qui ont de 3 à 4 mètres de longueur sur 1m,50 à tres de largeur. Il est particulièrement employé pour les ma d'escaliers, les cimaises, les tablettes et les acrotères de b trades ; on en fait aussi des chambranles de cheminées, des et autres ouvrages analogues qui exigent de la beauté et peu d'é seur de banc.

2° Le *liais Ferault* ou *faux liais*, qui est aussi dur que le p dent, mais d'un grain bien plus gros. Il se trouve quelquefoi les mêmes carrières que le premier, sous une hauteur d'ap de 0m,35 à 0m,40. On l'emploie aux mêmes usages, mais s pour les ouvrages qui ont plus d'épaisseur.

3° Le *liais rose*, qui est plus tendre que les deux variétés p dentes. Il se tire des carrières de Maison-Alfort et de Cré la hauteur de banc est de 0m,25 à 0m,30 ; on en extrait de rières de l'Ile-Adam dont la puissance varie de 0m,30 à 0m liais s'emploie particulièrement pour faire les carreaux de s manger et d'antichambres ; on en construit aussi des tabl des chambranles de cheminées.

En général, on donne le nom de liais à toutes les pierres d bas appareil dont on fait usage à Paris.

Cliquart. On désigne ainsi un pierre d'un grain fin et égal très-bon appareil, contenant peu de débris coquilliers. Cett est devenue rare, les carrières qui en fournissaient le plu presque toutes épuisées ; on en extrait cependant encore q blocs, de 0m,30 à 0m,35 d'épaisseur, des carrières de Montroug Vaugirard. On tire une pierre qui remplace le cliquart dans plaines de Bagneux, de Clamart et de Val-sous-Meudon.

La *roche* est une pierre très-dure et quelquefois coquil elle se trouve ordinairement en plusieurs bancs superpo meilleure se tire des carrières du fond de Bagneux, de Chât de la Butte-aux-Cailles, près de Bièvre ; elle a généralem 0m,45, à 0m,70 de hauteur de banc, y compris très-souvent à 0m,15 d'épaisseur d'une pierre très-coquilleuse. Les car d'Arcueil fournissent une roche qui est très-bonne, quand on soin de bien ébousiner les lits, ce qui oblige de réduire la h de banc de 0m,40 ou 0m,45 à environ 0m,35.

On extrait également des pierres de roche dans les plain Bel-Air, de Fleury, de Montrouge, etc. ; mais il faut apporter b coup de soin dans leur choix ; elles contiennent parfois bea de fils, que les ouvriers carriers cachent au moyen d'une bour couleur jaunâtre des pierres. Les carrières d'Ivry fournissent

assez fine, très-souvent coupée par des fils, et dont la hau-
; banc est d'environ 0m 40 à 0m,45. A Vitry (Seine), on trouve
oche, de 0m,30 à 0m,35 de hauteur et d'un grain très-fin, qui
:herchée à cause de la grande dimension de ses blocs; on
oie pour les balcons et particulièrement pour les monuments
ires. Quoiqu'elle paraisse en général très-saine, lorsqu'on
oie avant qu'elle ait jeté son eau de carrière, il se produit, après
ou trois ans d'exposition à l'air, une infinité de petits fils qui
nt par la détériorer entièrement; plusieurs tablettes recou-
les murs d'escarpe de l'enceinte de Paris, faites de cette pierre
lans la mauvaise saison, se sont trouvées, après quelques
s, dans un état complet de dégradation.

emploie aussi à Paris et dans ses environs différentes autres
s de pierres de roche dure qui sont très-estimées, et parmi
lles on distingue celle de Saillancourt, qui fournit des blocs
s-grandes dimensions, et que l'on a employée pour les para-
lu pont de Neuilly; celles de Saint-Nom, de l'Ile-Adam, de
etc.; celles de Sainte-Marguerite et de Château-Landon, que
mploie depuis plusieurs années à la construction des monu-
s publics de la capitale; on en a fait les bassins du Château-
, boulevard Saint-Martin, une partie de l'arc de triomphe
barrière de l'Étoile, les parapets du pont des Tuileries et la
ine Saint-Sulpice. Ces pierres sont très-dures et prennent le
comme le marbre; mais elles ont l'inconvénient d'avoir des
s et des parties terreuses qui obligent de les nettoyer et de
emplir avec beaucoup de soin, sans quoi la gelée les ferait
er; leur hauteur de banc est de 0m,45 à 0m,55, et comme leur
ogénéité permet de les poser en délit, c'est-à-dire de mettre ver-
ment les lits de carrière, on peut obtenir la hauteur d'assise
'on veut.

s carrières de roche des environs de Paris commençant à
iser, on fait venir cette pierre par eau et par chemins de fer
ifférentes localités éloignées, et particulièrement de la Bour-
e et de la Lorraine.

Bourgogne, les meilleures carrières de pierre dure sont situées
: Montbart et Châtillon (Côte-d'Or), et dans le canton de l'Isle
ne). C'est avec des pierres provenant de ces deux localités que
a fait, dans ces derniers temps, les voussoirs de têtes des ponts
-Dame, d'Austerlitz, des Invalides et de l'Alma, ainsi que le
on du quai du Louvre. C'est avec la roche de Châtillon-sur-
: qu'on a construit le socle du nouveau ministère des affaires
gères; elle est tout aussi dure que celle de Château-Landon,
a pas, comme cette dernière, l'inconvénient de renfermer des
es terreuses. Sa hauteur de banc varie de 0m,50 à 0m,65.

Les bonnes pierres dures de Lorraine, aujourd'hui bien connues à Paris, sont tirées des carrières d'Euville, Lérouville et Mécrin, près Commercy (Meuse). Cette pierre est facile à reconnaître, parce qu'elle est pétrie de grosses entroques, qui lui donnent une cassure miroitante.

On en a construit : l'hôtel de la préfecture, à Nancy; la cathédrale de Toul, le pont-canal de Liverdun, le grand viaduc de Nogent-sur-Marne, l'hôpital militaire de Vincennes, l'asile impérial du Vésinet, l'usine à gaz de la Chapelle, l'annexe de la Banque de France, le rez-de-chaussée de la caserne Napoléon, l'hôtel du Louvre, l'hôtel F..., l'église de Belleville, l'église de Rosny, la Chambre des notaires.

Pour les parapets du pont Saint-Michel et pour ceux des quais voisins du pont de Solferino, on vient de faire usage d'une pierre calcaire tirée du Jura; elle est rougeâtre et prend le poli du marbre.

A Paris, on fait aussi maintenant usage de différentes roches de la Ferté-Milon, de Valangoujard, Soissons, Laversine, etc.

Ainsi donc, on ne doit plus guère compter sur les carrières de banlieue pour l'approvisionnement de pierre dure nécessaire à Paris. C'est dans le Soissonnais, sur les bords du Loing, en Bourgogne, en Lorraine, qu'on doit aller chercher cette pierre.

Il en est de même des liais, qui, dans peu d'années, proviendront tous du Senlissois et du Laonnais.

Les pierres demi-dures et tendres de bonne qualité commencent elles-mêmes à devenir rares dans les carrières de Paris; c'est sur les bords de l'Oise, entre Conflans et Clermont, qu'il faut aller les chercher. (Voir le rapport de M. Belgrand sur un mémoire de M. Michelot, intitulé : *Recherches statistiques sur les matériaux de construction employés dans le département de la Seine.* — *Annales des ponts et chaussées*, 1855.)

Le *banc-franc* ou *pierre franche* est de stratification plus ... que la roche; il est moins dur que celle-ci, et d'un grain plus fin et plus égal; on n'y rencontre jamais de parties coquilleuses ni d'empreintes d'aucune espèce.

On emploie ordinairement cette pierre pour remplacer la roche quand on veut économiser; son épaisseur de banc varie de ... 0m,40, et elle atteint quelquefois 0m,60; elle provient des carrières exploitées à Montrouge, Bagneux, Châtillon, Arcueil; on en tire aussi une espèce des carrières de l'Ile-Adam, et une autre de l'abbaye du Val, même pays.

On comprend aussi dans les pierres franches un banc de 0m,... 0m,35 de hauteur, qui est de très-bonne qualité, et qui, par sa densité, tient le milieu entre la roche et le liais. La première assise du Panthéon français, à la hauteur du sol, a été construite avec ...

que l'on tire des carrières de Montrouge, d'Ivry, de Vitry et
·enton.
presque toutes les carrières où l'on extrait des pierres dures,
· des bancs de qualité trop inférieure pour être employés
pierre de taille. La position qu'ils occupent varie en raison
ture et de l'épaisseur des autres bancs qu'ils accompagnent;
ls forment le banc inférieur, d'autres fois une couche inter-
e, mais le plus souvent le banc supérieur qui touche au ciel
rrière. Les meilleures parties de ces bancs imparfaits sont
ées à faire des libages pour les fondations.

Pierres calcaires tendres. Ces pierres sont composées des
éléments que les précédentes (570), et se débitent à sec, à la
lents. Celles des environs de Paris sont la *lambourde*, le *ver-*
Saint-Leu, le *Conflans* et le *parmin*. Toutes ces pierres s'em-
beaucoup pour la construction des édifices et des bâtiments
liers; elles résistent bien à la gelée lorsqu'elles ont perdu leur
arrière; elles se taillent facilement, et leur parement a l'avan-
durcir à l'air.

mbourde la plus recherchée provient des carrières de Saint-
elle porte de 0m,65 à 0m,95 de hauteur de banc. On en extrait
Carrières-sous-Bois, près Saint-Germain-en-Laye, de même
ce de banc que la précédente, et aussi de très-bonne qualité.
rières de Gentilly, Nanterre, Carrière-Saint-Denis, Houilles,
son, etc., fournissent également une espèce de lambourde,
'une qualité inférieure aux premières, et d'un banc moins

rgelet et le *Saint-Leu* s'extraient des mêmes carrières situées
bords de l'Oise. Le vergelet provient d'un banc supérieur; il
très-bonne qualité et parfaitement résistant. Le Saint-Leu
a masse inférieure des carrières; il est d'un grain beaucoup
que le précédent; il s'écrase sous une plus faible charge, et
e moins bien aux influences atmosphériques. Ces pierres ont
à 0m,80 d'épaisseur. Les carrières de Silly fournissent aussi
pèce de vergelet beaucoup plus gras, c'est-à-dire plus mar-
que le précédent; il est sujet à la gelée, quand il n'a pas été
é dans la bonne saison.

arements vus des tympans des nouveaux ponts de Paris sont
gelet; on l'a même employé à la reconstruction des voûtes du
Maisons-Laffitte.

rgelet a été employé avec avantage pour les gares des chemins
de Lyon et de l'Est. Dans son mémoire (page 804), parmi les
ents où le choix de la pierre a été bien fait, M. Michelot cite,
s deux gares précédentes, la bibliothèque Sainte-Geneviève,
re et le ministère des affaires étrangères; on aurait, au con-

traire, souvent employé des matériaux de qualité inférieure des en-rons de Paris, au palais de justice, à la caserne Napoléon, au pal de l'Industrie, dans les nouveaux bâtiments du Louvre, et à la g de l'Ouest, rue Saint-Lazare.

On nomme *Conflans*, une très-belle pierre tendre que l'on extr Conflans Sainte-Honorine, sur le bord de l'Oise. On en disting trois espèces : la première, qui se nomme *banc-royal*, a le gr extrêmement fin et la masse très-haute ; on en tire des blocs de t grandeurs; les angles du fronton du Panthéon sont de cette pi et ont été taillés dans des blocs bruts de 14 mètres cubes ; la se espèce est prise dans la partie inférieure de la masse ; elle est tendre et plus fine que la précédente; la troisième espèce, ap *lambourde*, est d'un grain aussi fin que le banc-royal, mais tendre et de qualité inférieure. Les deux premières espèces sont b coup employées pour les travaux où l'on doit exécuter des mo ou des sculptures.

Le *parmin* provient d'une nouvelle carrière de l'Ile-Adam : i peu près de même qualité que le Saint-Leu, quoique un pe tendre et d'un grain plus fin. Sa hauteur de banc varie de 0m,70.

En général, toutes les pierres tendres soumises à l'analyse nissent à peu près les mêmes résultats que la roche et le franc ; leur moindre degré de dureté doit être attribué à leur fication, qui paraît plus récente, et à la nature des couches recouvrent.

On emploie quelquefois une pierre tendre appelée *tuf*, *solide*; celle qui contient une trop forte proportion d'alumine pas à la gelée, et il est toujours prudent de n'employer cette que quand elle est entièrement sèche. Le tuf des environs n'est pas assez résistant pour être employé dans les constructions.

572. *Marbres*. Ce sont des pierres calcaires à grain fin et com d'une dureté qui supporte la taille la plus finie, et susceptible de dre un très-beau poli. Comme, de plus, leurs couleurs sont variées d'une carrière à une autre, et même les mieux assorties un même bloc, il en résulte que l'on en fabrique un nombre rable d'objets d'art ou d'ornementation, pour palais, intérieurs bitations et meubles. Les artistes font des sculptures en marbre du plus grand fini.

Les marbres sont généralement opaques; mais il y en a cepend qui sont très-cristallins et même translucides : ce sont les alb qui se distinguent d'ailleurs des marbres proprement dits par structure zonée et fibreuse, ainsi que par une dureté plus gra qui rend leur travail plus difficile.

Dans plusieurs de nos départements où les marbres abondent,

ploie aussi pour les constructions, sous forme de moellons et en pierres de taille.

marbres se trouvent en bancs formés par dépôt et d'une épais- lus ou moins grande.

lonne le nom de *marbres antiques* à ceux qui sont le plus ancien- nt connus et qui provenaient de l'Égypte, de la Grèce et même alie, et de carrières maintenant inconnues.

marbres dits *modernes* sont ceux qui proviennent des départe- de la France et d'autres pays, dont les carrières sont connues activité d'extraction.

nomme *marbre statuaire* celui qui est le plus convenable pour lpture, c'est-à-dire celui dont la couleur est uniforme, sans es ni veines, ni surtout de filandres, et le moins susceptible de ner. Le marbre blanc, tel que celui qui vient de Carrare, réunit s parfaitement toutes ces qualités.

marbre antique de *Paros*, d'un blanc quelquefois un peu jaune, employé pour faire des statues, des vases, etc.

désigne sous le nom de *lumachelle* un marbre formé d'un grand ore de coquillages, que l'on distingue facilement et qui sont tinés ensemble par un ciment calcaire.

s *brèches* sont des marbres composés de débris de marbres plus ens, agglutinés ensemble par un ciment de même espèce. Les *ielles*, les poudings, les marbres *cervelas*, sont des brèches.

us le rapport des défectuosités, on appelle :

rbre fier, celui qui, par sa dureté, résiste à l'outil avec lequel eut le travailler, et qui éclate facilement quand on veut y former arêtes;

landreux, celui qui a des fils ou fissures qui nuisent à son poli, rendent plus sujet à casser;

rrasseux, celui qui a des fissures plus grandes, vides ou rem- de substances terreuses, auxquelles on est obligé de substituer astic;

uf, celui qui est susceptible de s'égrener et qui, par conséquent, fuse à recevoir des arêtes vives ou d'autres parties fines de sculp- (Art. n° 21).

I3. *Distinctions usitées entre les pierres de taille. Qualités et dé-* s. Relativement à leur emploi, on divise les pierres en deux clas- les pierres dures et les pierres tendres. Les premières ne peu- se débiter qu'à la scie à eau et au grès (570); les secondes se sent à la scie à dents (571).

s qualités principales des pierres dures ou tendres sont d'être nes, sans *fils* ni *moyes*, d'avoir le grain fin et homogène dans es les parties, de pouvoir résister à l'humidité et à la gelée, de ne éclater au feu; on doit pouvoir y remarquer cette teinte spathi-

que que produit ordinairement une stilation abondante de l'air cohésion, et qui donne à la pierre un ton agréable.

Les pierres sont disposées dans la carrière par bancs horizontaux et parallèles, composés ordinairement de couches apparentes superposées ; les faces horizontales de ces bancs sont appelés *lits de carrière*, qu'il est de la plus grande importance de pouvoir distinguer facilement, ce que l'on fait en regardant avec attention la cassure verticale de la pierre; on y remarque une infinité de petites veines parallèles aux lits, quelquefois presque invisibles, mais qui se distinguent cependant assez pour ne pas se tromper sur leur sens. On reconnaît les lits de carrière des pierres des environs de Paris, et en général de beaucoup de pierres calcaires, à la partie tendre, appelée *bousin*, qui les recouvre. Il importe beaucoup de disposer les pierres dans les constructions, de manière que la pression qui les sollicite soit dirigée aussi normalement que possible aux faces parallèles aux lits de carrière; ainsi, par exemple, dans un mur vertical, ces lits seront horizontaux; car si l'on plaçait les pierres en délit, les influences atmosphériques, jointes à la charge, les feraient déliter ou tomber en feuillets, et, perdant toute cohésion, la solidité de la construction serait compromise.

On dit qu'une *pierre* est *pleine*, lorsqu'elle ne contient ni coquillages, ni cailloux, ni moyes, ni trous : telles sont le liais, le banc franc et la pierre tendre (570 et 571); on désigne aussi de cette manière toute espèce de pierre dont les lits sont aussi durs que l'intérieur du banc. Ces sortes de pierres sont les meilleures pour les constructions.

Les *pierres gélisses* sont celles qui ne résistent pas à la gelée; elles absorbent facilement l'humidité, et l'eau qui se loge dans les petites cavités dont leur masse est criblée, venant à gonfler par suite de la congélation, les fait tomber en écailles très-minces, qui finissent par se réduire en poussière. Ces pierres sont ordinairement moins denses que les autres de même espèce; elles absorbent l'eau avec facilité, et elles n'offrent pas cette teinte spathique que l'on remarque dans les pierres de bonne qualité; elles ont aussi le désavantage de très-mal soutenir les arêtes.

Quelques pierres gélisses peuvent être employées comme libages dans les fondations; mais elles doivent être rigoureusement rejetées pour toutes les autres parties de la construction, si l'on veut être assuré de la stabilité. La plupart des pierres gélisses qui se détruisent aux intempéries de l'air soutiennent facilement un feu de four à chaux, tandis que les meilleures pierres calcaires, qui résistent pendant un nombre considérable d'années aux plus grands froids, ne peuvent supporter le même degré de chaleur sans tomber en éclats. En général, les pierres tendres et poreuses soutiennent mieux la chaleur que les pierres les plus dures.

rive quelquefois que des pierres de très-bonne qualité se fen-
;t éclatent par un très grand froid; une grande partie des
s calcaires ont ce défaut lorsqu'elles sont extraites aux appro-
e l'hiver ou pendant l'hiver, tandis que si au contraire elles
rées pendant la belle saison, elles ont le temps de jeter leur eau
rière, et elles résistent parfaitement. Les pierres qui absorbent
oup d'eau résistent rarement à la gelée et à l'humidité.
nomme *pierre moyée*, celle dont la texture n'est pas uniforme,
contient des fils ou des trous remplis de matières terreuses.
ue les *moyes* ne sont pas trop profondes, elles se trouvent enle-
ar la taille; dans le cas où l'épaisseur de celle-ci est insuffi-
pour les faire disparaître complétement, on ne peut employer
erres que comme libages, et l'on doit les rebuter complétement
s'il n'y a pas lieu de pouvoir les mettre en œuvre de cette ma-

squ'une pierre est graveleuse et qu'elle s'égrène à l'humidité,
t qu'elle est *moulinée*. Ce défaut est particulier à quelques pierres
es et particulièrement à la lambourde (571). Les ouvriers dési-
t habituellement les pierres qui ont ce défaut en disant qu'elles
es arêtes *poufes*.
ι trouve quelquefois des pierres qui ont une ou plusieurs petites
les ou zones très-dures dans la hauteur de leur banc; les ouvriers
lésignent sous le nom de *pierres ferrées*.
s pierres d'une même classe, celles qui ont le grain fin et serré,
ntexture compacte et la couleur foncée sont les plus dures, les
difficiles à travailler, et celles qui supportent les plus fortes
ges. En général, on remarque que celles dont la couleur est la
ns foncée sont les plus tendres; que celles dont la cassure pré-
e des aspérités et des points brillants se travaillent plus difficile-
t que celles dont la cassure est lisse et le grain uniforme. Les
res qui ont le grain fin et la texture uniforme produisent un son
ı lorsqu'on les frappe; celles qui exhalent une odeur de soufre
qu'on les travaille sont en général les plus résistantes. Enfin, pour
pierres de même espèce, les plus denses sont les plus dures et
plus fortes.
es pierres scintillantes réunissent mieux toutes les qualités
ıe bonne pierre que les pierres calcaires; mais comme elles sont
général plus dures, elles sont plus difficiles à travailler (563).
ans le choix des pierres de taille, on doit toujours donner la pré-
nce aux appareils de gros échantillons, autant toutefois que leurs
ensions ne dépassent pas celles que comporte le travail à exécuter.
74. *Recherche et essai des pierres*. Beaucoup de pierres ne réu-
sent pas toutes les qualités nécessaires pour faire une bonne con-
ıction; il est très-important, lorsqu'on a un travail de maçonnerie

à exécuter, d'examiner avec beaucoup de soin toutes les pierres dont on fait usage dans le pays. Pour cela, on visite toutes les carrières; si elles sont exploitées depuis longtemps, on peut voir les édifices où les pierres qui en proviennent ont été employées, afin de savoir comment elles se comportent et de quelle manière elles résistent dans les différentes positions où elles sont placées. S'il s'agit, au contraire, d'ouvrir de nouvelles carrières, il faut être très-circonspect, et s'assurer par des essais que les pierres ne s'altèrent pas. Ainsi, on exposera des blocs à l'air, à l'eau, à la gelée; si le temps ne permet pas de vérifier si les pierres résistent à la gelée, on pourra, jusqu'à un certain point, le faire en toute saison à l'aide du procédé de M. Brard, lequel consiste à imbiber un morceau de la pierre d'une dissolution de sulfate de soude, et à l'exposer ensuite à l'air : la cristallisation de ce sel produit un effet analogue à celui de la congélation de l'eau, et fait reconnaître les pierres que la gelée attaque le plus vivement. Ainsi, l'on préparera un cube de 0^m,04 à 0^m,05 de côté avec la pierre à essayer; après l'avoir pesé, on le fera bouillir pendant une demi-heure dans de l'eau saturée de sulfate de soude, puis on le suspendra à l'air et on l'arrosera de temps en temps avec l'eau de la dissolution. Au bout de quelques jours, on pourra juger du degré de gélivité de la pierre.

La recherche des carrières est une opération importante, autant comme spéculation, que lorsqu'il s'agit d'exécuter de grands travaux dans les lieux éloignés des carrières ouvertes, afin de diminuer les transports, qui entrent pour une grande partie dans le prix des pierres.

L'étude minéralogique du sol est suffisante pour faire connaître la nature des pierres qu'il doit fournir, et les endroits sur lesquels il convient de diriger les recherches. Des sondages faits dans les lieux choisis font connaître la profondeur du gisement, et le nombre et l'épaisseur des bancs qu'il contient. Les indices et essais indiqués ci-dessus feront prévoir quelles sont les qualités de la pierre, qui ne pourront cependant guère être appréciées rigoureusement qu'à l'emploi.

875. *Briques.* Les briques cuites remontent au temps de Babylone : il est difficile de fixer à quelle époque les Grecs et les Romains ont commencé à en faire usage.

Les dimensions des briques varient suivant les localités, mais le plus souvent elles ont 0^m,22 de longueur, 0^m,105 de largeur et 0^m,0[illegible] d'épaisseur. Dans tous les cas, la longueur devrait être égale à deux fois la largeur plus un joint, et, autant que possible, la largeur égale à deux fois l'épaisseur plus un joint. On fait des grandes briques qui ont de 0^m,30 à 0^m,36 de longueur sur 0^m,20 à 0^m,22 de largeur et 0^m,04 à 0^m,05 d'épaisseur. On en fabrique des petites qui ont de 0^m,16 à

de longueur sur 0m,08, 0m,095 de largeur, et 0m,04 à 0m,05 d'é-eur.

s *briques de Bourgogne* sont les meilleures que l'on emploie à ; on y fait encore une plus grande consommation des *briques* *ontereau* ou de *Salins*, qui approchent beaucoup des précédentes pparence et en qualité ; les *briques* dites *de pays*, qui se fabriquent ris et dans ses environs, sont bien moins estimées encore ; ce-lant on les emploie avec assez d'avantage dans les bâtiments, à e de leur légèreté. Les indications suivantes feront reconnaître liverses espèces de briques.

s briques de Bourgogne ont 0m,220 de longueur sur 0m,107 de eur, et 0m,055 d'épaisseur ; cette dernière dimension n'est ordinai-ent que de 0m,048 à 0m,050 pour les briques de Montereau. Ces deux :ces de briques sont d'un rouge très-pâle ; mais les premières sont chargées de petites taches brunes produites par des matières vi-ées, elles produisent parfois des étincelles sous le choc de l'acier, lles pèsent 2 250 kilog. par mille, au lieu que ce poids n'est que 2 063 kilog. pour celles de Montereau. Les briques de pays sont n rouge foncé ; en qualité, elles approchent de celles de Monte-u, seulement elles résistent mal aux chocs ; elles ont encore 0m,22 longueur, mais seulement 0m,103 de largeur, et, au plus, 0m,040 à ,045 d'épaisseur ; le millier pèse 1935 kilog.

La *brique de Sarcelles*, du village de ce nom, situé à 12 kilomètres Paris, est celle dont on fait le plus grand usage dans cette ville ; e ne porte que 0m,21 de longueur, sur 0m,095 de largeur et 0m,05 d'é-isseur ; sa couleur est le rouge vif uniforme, sans vitrification ; elle t beaucoup plus fragile et plus légère que les précédentes ; le mil-r ne pèse que 1 750 kilog.

376. *Fabrication des briques.* Lorsqu'on a des briques à faire dans pays, on commence par soumettre à la cuisson, soit dans un four t exprès, soit dans un four à chaux, des échantillons de chacune des rres argileuses qui se trouvent à proximité du point de fabrication. n peut rejeter sans cet essai de cuisson les terres qui contiennent s parcelles de calcaire ou de silex ; la chaux que donnerait le cal-aire à la cuisson, s'éteignant spontanément, détruirait les briques, les parcelles de silex, en éclatant au feu, les briseraient

Le choix de la terre étant fait, pour faciliter la manipulation, il con-ent d'extraire l'argile au commencement de l'automne, et de la lais-r exposée aux intempéries de l'hiver pour ne l'employer qu'au rintemps suivant.

On procède alors au corroyage, qui se fait en *marchant* l'argile, la muant et la battant à plusieurs reprises, en enlevant avec soin utes les matières pierreuses ou pyriteuses, lesquelles, en servant e fondant, pourraient altérer la brique pendant la cuisson.

L'argile étant bien préparée, on y ajoute la quantité de sable ou d'alumine qui peut être nécessaire, et l'on remue le mélange de manière à le rendre bien homogène; puis on y verse la quantité d'eau suffisante pour l'amener à l'état de pâte ductile.

Lorsque la silice est en défaut, le sable que l'on ajoute doit être fin. Le mélange s'opère facilement en étendant la terre par couches d'une épaisseur uniforme et en répandant dessus, en couches aussi uniformes, la quantité de sable jugée nécessaire. Si c'est l'alumine qui manque, il convient, pour faire facilement le mélange, que les deux terres soient réduites en poussière, si cela est possible, ou en pâte molle.

On a reconnu par expérience qu'en général le volume d'eau employé ne doit pas excéder la moitié de celui du mélange que l'on pétrit. Le pétrissage s'opère souvent, soit avec des cylindres qui passent sur le mélange, soit au moyen de laminoirs, soit enfin avec la tinne à malaxer.

Le corroyage a la plus grande influence sur la solidité des briques dont il augmente la densité. Deux briques, l'une préparée par les moyens ordinaires et l'autre corroyée avec le plus grand soin, toutes deux ayant été séchées et cuites dans les mêmes circonstances, la première pesait 31 grammes de moins que la seconde, et elles se sont rompues sous les charges respectives de 35 et 65 kilog. En général, on a reconnu que les densités de ces briques étaient dans le rapport 82 : 86, et les charges qu'elles supportaient dans celui 70 : 130.

Lorsque le mélange est terminé, on façonne les briques au moyen de moules ; puis on les porte au séchoir, qui est disposé sous un hangar ou en plein air. Dans ce dernier cas, on garantit les briques de l'action directe du soleil, sans quoi la dessiccation étant rapide et inégale à la partie extérieure, les briques se tourmenteraient et l'humidité intérieure ne pourrait sortir qu'en faisant gercer les briques. La dessiccation des briques étant complète, on procède à la cuisson.

877. *Cuisson des briques.* Les briques se cuisent, soit à la volée, soit dans des fours. Le premier mode consiste à disposer les briques en tas sur une aire convenablement dressée. Les tas sont formés de briques placées de champ, par assises. A la partie inférieure du tas, on laisse des vides dont la largeur, sur le sol, est égale à cinq fois l'épaisseur d'une brique, mais que l'on diminue d'assise en assise de manière à pouvoir fermer complétement les vides par la cinquième assise. Outre ces vides, qui règnent sur toute la largeur du tas et qui servent de foyers, il part, de la partie supérieure de chacun d'eux, deux ou trois vides verticaux qui servent de cheminées et facilitent la mise en feu. De plus encore, les rangs des deux premières assises sont formés de briques à peu près en contact par leurs extrémités, mais espacés latéralement tant vide que plein, de manière à recevoir

ıne certaine quantité de charbon en morceaux de 0m,03 à 0m,04 té. Les briques du pourtour des cinquième et septième assises eur face extérieure faisant un certain angle horizontal sur les du tas, et l'on remplit encore les vides qu'elles laissent entre et les briques voisines avec des morceaux de charbon; on peut 'e, si on le juge convenable, disposer ainsi le pourtour de quel- autres assises convenablement éloignées, afin que la tempéra- soit à peu près la même au pourtour du tas que vers le milieu. soin de remplir tous les foyers de bois sec recouvert de mor- c de charbon nommé *gaillette* (310), avant de poser la cinquième e. On met le feu après avoir placé la sixième assise. Sur toute la me assise, excepté à l'endroit du foyer, on place une couche de le menue, puis une nouvelle assise de briques, une couche de ile, une autre assise de briques, et ainsi de suite.

n de ne pas étouffer le feu, on a soin de ne placer les nouvelles es, au-dessus de la sixième, qu'au fur et à mesure que le feu tre la masse.

ur empêcher les déperditions de chaleur, et rendre celle-ci au- que possible uniforme en tous les points de la masse, on enduit érimètre du tas avec de la terre détrempée mélangée de paille hée. On pourrait encore utiliser la chaleur perdue en couvrant le le pierre à chaux.

n *tas* peut être formé de vingt-quatre assises de briques et avoir foyers espacés entre eux, à la partie inférieure, de quinze épais- 's de briques. Par ce mode de cuisson, on ne peut opérer sur ns de 50 000 briques à la fois, et sur plus de 200 000 ; il faut comp- sur 1/10 de briques de déchet. Les tas ont quelquefois 6m,50 de teur.

a quantité de houille brûlée est de 250 kilog. (1/3 de grosse et de menue) par millier de briques. Un relevé fait dans le dépar- ent du Nord, où la houille est à bon marché, a donné, pour le : de revient (tous frais compris), 12 fr. par millier de briques.

ans les pays où les briques se cuisent au bois, on construit des rs spécialement affectés à cette cuisson. Ils sont formés de quatre rs verticaux en briques, enterrés ou appuyés par des remblais en 'e. Dans le pied d'un des murs sont pratiquées des petites voûtes, s larges que celle des fours à la volée, reposant sur des pieds- its de 0m,60 de hauteur. Ces voûtes, qui font partie du four et se longent sous toute son étendue, sont à claire-voie, afin de laisser ser la chaleur des feux qui se font sous toutes les voûtes.

'our la cuisson au bois on construit des grands fours qui contien- ıt 100000 briques, et des petits qui n'en renferment que 25000.

)n alimente les foyers pendant tout le temps que dure la cuisson

si l'on ne fait usage que de bois. Les briques se disposent dans ce four comme pour la cuisson à la volée.

On profite des murs qui entourent le four pour soutenir un toit élevé en tuiles ; cette disposition a l'avantage de préserver les briques de la pluie et du vent, choses à redouter dans la cuisson à la volée. Tout compris, le prix de revient est plus élevé par ce procédé que par le premier.

En Suède, en Belgique, et dans quelques départements du nord de la France, au lieu de construire des fours à demeure en maçonnerie, on se contente de les faire en briques crues, aux abords des ateliers où les briques doivent être employées.

Quelle que soit la forme des fours, les briques y sont arrangées en les posant de champ sur le long côté, de manière que le premier rang croise les languettes des foyers, que le second rang croise le premier, et ainsi de suite, en réservant toujours un petit vide autour de chaque brique. On recouvre le dernier rang d'une couche d'argile de 0m,11 d'épaisseur, afin de concentrer la chaleur et de pouvoir la modérer, l'activer ou la diriger à volonté, en pratiquant des ouvertures dans cette couche.

Quand on cuit les briques au moyen de la tourbe, on établit les fours sous de vastes hangars, et on les construit de la même manière que ceux chauffés au bois ; les foyers s'étendent sous toute la profondeur de la base du four.

A Salins, près Montereau, les fours sont carrés et fermés supérieurement par une voûte ; ils peuvent contenir 80 000 briques ; la cuisson dure un mois, dont huit jours de petit feu, qu'on nomme *fumage* ; le bois revient à 300 fr. pour le fumage, et à 1 200 fr. pour le grand feu, ce qui fait environ 18 fr. par mille briques.

On peut encore faire usage du bois ou de la tourbe pour cuire en plein air. On forme avec les briques un tas rectangulaire, comme si la cuisson s'effectuait dans un fourneau fermé ; on ménage à la base un certain nombre de canaux dans lesquels on charge plus tard le combustible, puis on recouvre les faces latérales du tas d'une couche de terre ou d'argile qui remplace les parois du fourneau.

Lorsqu'on fait usage de la houille pour cuire la brique à l'aide de fours fermés, les foyers sont à grilles et placés seulement dans l'épaisseur des parois du four. Des voûtes à claire-voie, qui s'étendent dans toute la profondeur du four, distribuent partout les produits de la combustion. Les foyers se placent d'un même côté du four, au nombre de deux ou trois. A Issy, près Paris, M. Carville a établi des fours voûtés supérieurement, à peu près carrés, chauffés à l'aide de trois grilles, et dans lesquels on cuit 80 000 briques avec 160 hectolitres de houille. En portant à 80 kilog. le poids de l'hectolitre, et à 3f,12 le prix de 100 kilog., on voit que la cuisson des 80 000 briques

ige que pour 100 fr. de combustible, somme bien inférieure à : donnée par la cuisson au bois.

:s fours à la houille sont à peu près carrés ; cependant, dans le 'ordshire, on fait usage de fours circulaires, qui conviennent sur- pour les briques réfractaires, à cause de leur plus grande valeur. Saint-Menge (Vosges), on cuit dans le même four de la chaux et des briques. Les voûtes et la sole du four sont en pierres à ıx, et dessus on place les briques à cuire. Les grilles s'étendent la moitié de l'épaisseur des murs du four et une partie des voûtes. a une grille à l'extrémité de chacune des trois voûtes parallèles alcaire qui s'étendent d'un côté du four au côté opposé ; les six es sont séparées par un massif de maçonnerie qui s'élève jus- u niveau des grilles. Dans un four de 4 mètres de largeur, ıtres de longueur et 3 mètres de hauteur, on peut cuire 3 mètres ıs de chaux.

ɔur cuire la brique, la conduite du feu exige de l'expérience. On mence par un feu modéré, que l'on prolonge pendant vingt- tre heures ; on le porte ensuite à un degré moyen de chaleur, que continue pendant trente-six heures ; puis on le pousse jusqu'à lus forte intensité, et on l'y maintient, autant que possible, jus- ı l'entière cuisson des briques. La durée du refroidissement né- ɜaire au défournage varie de cinq à vingt jours suivant la plus moins grande quantité de briques soumises à la cuisson.

uelles que soient l'espèce de four et la nature du combustible l'on emploie, toutes les parties intérieures ne sont pas portées nême degré de température, d'où il résulte que les briques d'une ne fournée ne sont pas toutes également cuites, et sont, par e, de diverses qualités ; celles qui occupent le tiers de la hauteur 'our sont ordinairement les plus estimées, par la raison qu'elles t cuites au degré le plus convenable, et qu'elles ne sont presque déformées.

es fours à briques du midi de la France ont donné les propor- s suivantes de produits de diverses qualités :

ɜriques de premier choix, d'une cuisson parfaite, destinées aux ouvrages hydrauliques	0,10
riques de deuxième choix, d'une cuisson parfaite, déformées et beaucoup en morceaux, propres au même emploi que les précédentes, mais destinées aux massifs	0,15
ɜriques de troisième choix, assez tendres pour être taillées, employées pour les travaux de bâtiment	0,25
ɜriques de quatrième choix, très-tendres et beaucoup en morceaux, bonnes pour cloisons et remplissages	0,10
ıʳchets et résidus	0,40
	1,00

A l'arsenal de Brest, on a fait usage, pour cuire les briques au bois, d'un four à deux compartiments (figure 15, planche II, ...), lequel le tableau suivant indique la conduite du feu.

TABLEAU du nombre des fagots brûlés pendant chaque heure de chaque quart. Le premier quart comprend les six premières heures de cuisson ; le deuxième quart, les six heures suivantes ; le troisième, les six autres, et ainsi de suite.

HEURES de chaque quart.	Nombre de fagots brûlés dans le compartiment inférieur.							
	1er quart	2e quart.	3e quart.	4e quart.	5e quart.	6e quart.	7e quart.	[illegible]
1	10	23	31	26	31	30	32	[illegible]
2	13	24	28	28	28	32	»	[illegible]
3	17	26	27	30	30	28	»	[illegible]
4	16	28	29	32	27	30	»	[illegible]
5	19	27	31	29	29	29	»	[illegible]
6	20	29	27	29	27	30	»	[illegible]
Pour chaque quart. . .	95	157	173	174	172	179	32	[illegible]

On brûle donc 1 053 fagots pesant chacun 8k,9, ce qui fait un poids total de 9 371k,70.

Contenu du four. .	Compartiment inférieur.	6 200 briques.
	Compartiment supérieur.	2 800
	Total.	9 000

Poids du bois brûlé par millier de briques, 1 041 kilog.

Pour charger et décharger le compartiment inférieur, on enlève la maçonnerie qui ferme complétement le cendrier du compartiment supérieur pendant toute la durée de la cuisson ; on retire également la plaque de fonte D' qui sépare l'ouverture du foyer de celle du cendrier.

L'ouverture *a* du cendrier inférieur, comme celle du cendrier supérieur, a 0m,... de côté, et un registre la laisse seulement ouverte au tiers pendant les 7 premiers quarts, et la ferme presque complétement pendant le 8e quart.

BB ouvertures, de 0m,40 de côté, facilitant le chargement et le déchargement des compartiments, et que l'on tient fermées par des doubles cloisons en briques pendant la cuisson ;

CC voûtes à claire-voie supportant les briques dans chaque compartiment ;

DD grilles dont les sections sont le tiers de celles des chargements à la base. Les barreaux sont en fer de 0m,03 de largeur, et ils sont espacés de 0m,01 entre eux.

On a trouvé par expérience que l'on obtenait le maximum d...

nbustible, quand le vide laissé entre les briques à cuire était ; du vide total. On place les briques de champ, comme dans la a à la volée, et le chargement se fait complétement avant de en feu. En disposant les briques, on a soin de ménager des lus grands vers les parois du four que dans le milieu, afin que eur se propage uniformément dans toute la masse. Dans les rétrécies, on a soin aussi de laisser des vides plus grands.

portes des foyers sont formées d'un cadre en fer, entre les parois l on fait une murette en briques. Au milieu de chaque porte se une petite ouverture qui permet de voir ce qui se passe dans r, sans être obligé d'ouvrir la porte; cette ouverture se ferme tampon amovible en terre.

16 et 17, pl. II. Coupes en élévation et en plan d'un four em- à Paris pour cuire des pots à cloisons, des briques pour tuyaux minées et des tuyaux entiers.

etits canaux de communication du four avec la cheminée, ayant $0^m,085$ de largeur sur $0^m,16$ de hauteur; ils sont éloignés de $0^m,12$ environ. La cheminée a $0^m,25$ à $0^m,30$ de largeur à la base, mais elle devient carrée à une certaine hauteur;

orte par laquelle on introduit et on retire la marchandise; on la ferme pendant la cuisson par une murette en briques;

ouverture par laquelle se dégage l'air quand on veut défourner; cet orifice, qui ouvre dans l'étuve où sèchent les poteries, est fermé pendant la cuisson.

partie qui couvre le foyer est sphérique, le reste est cylindrique. ûle du bois, et il paraît que le feu dure de douze à quinze heures urnée (consulter l'article *Tuiles*).

. *Couleurs et indices de bonne qualité des briques.* Quand l'ar- mployée à la fabrication des briques est ferrugineuse, à la cuisson iques deviennent rose tendre, passent au rouge plus ou moins rouge pourpre, et enfin au noir, couleur et cassure laitier. Elles entent un peu de volume jusqu'au terme de demi-cuisson, et au lles éprouvent un retrait qui va toujours croissant jusqu'à leur cation si le feu est assez vif.

nd l'argile ne contient l'oxyde de fer qu'en faible quantité, mais e renferme du carbonate de chaux, les briques restent d'un sale pendant toute la cuisson; elles sont encore susceptibles vitrifier, la chaux, comme l'oxyde de fer, étant attaquée par la à une haute température.

'argile ne contient ni oxyde de fer ni chaux, elle fournit des s pouvant résister à des températures très-élevées, dites *briques taires*, que l'on emploie pour la construction de toutes les par- fourneaux susceptibles d'etre exposées à une haute tempéra- Les briques réfractaires de premier choix sont faites avec giles plastiques très-réfractaires, dégraissées en y ajoutant un

ou deux volumes de ciment de terre réfractaire finement bro... les argiles sont lavées. Pour les briques demi-réfractaires, on dégr... l'argile par des sables, dont le prix est bien moins élevé que des ciments broyés.

Les indices de mauvaise qualité des briques sont: avoir couleur rouge jaunâtre, surtout rendre un son sourd sous le c... s'émietter entre les doigts, posséder un grain mollasse et gras, sorber l'eau avec rapidité et se rompre facilement. Une bo... brique, au contraire, rend un son clair par la percussion, ... dure, son grain est fin et serré dans la cassure; elle est ... ment d'un rouge brun foncé, et quelquefois elle présente à la ... des parties vitrifiées. Il ne faut pas cependant toujours se fier ... dernière apparence, qui provient souvent d'un commencement ... vitrification due au degré de cuisson seul, quoique l'argile ... impure et mal préparée.

Il arrive quelquefois que pour donner un plus beau coup d'œil ... briques, le fabricant sème sur la plate-forme du séchoir un ... sable et de mâchefer. Ces matières s'attachent à la surface des ... encore humides, et un commencement de vitrification, ... de la cuisson, donne une belle apparence aux briques, qui ... cependant être de mauvaise qualité.

Pour vérifier si une brique peut résister à l'action de la ... d'après M. Brard (574), on la fait bouillir pendant une demi-... dans une dissolution saturée à froid de sulfate de soude, puis ... suspend par un fil au-dessus de la capsule dans laquelle ... bouilli. Au bout de vingt-quatre heures, la surface se trouve ... verte de petits cristaux, que l'on fait disparaître par une ... immersion dans la dissolution; ils se reforment encore après ... que temps de suspension; on les fait disparaître de même, et ... avoir répété la même opération pendant cinq jours après la ... nouvelle apparition de cristaux, si la brique est gélive, elle ... donne de petits fragments qui se sont réunis au fond de la ... sule; dans le cas contraire, la cristallisation du sulfate de ... n'en détache aucune particule, les arêtes ne s'émoussent même ...

879. *Briques crues.* L'usage de ces briques, dont Vitruve ... fabrication, remonte à la plus haute antiquité; on en trouve ... plupart des monuments grecs et romains; il existe encore en ... et en Asie des édifices bâtis avec ces briques à des époques an... térieures à l'ère vulgaire.

Malgré l'humidité du climat, il y a des localités en France ... briques crues sont d'un usage très-répandu; c'est ce qui a lieu ... les départements du Midi, où elles sont communément emp... pour les constructions agricoles et même pour celles des ... Toulouse, Montauban, Perpignan, etc., en contiennent de nom...

nples. En Picardie et en Champagne, on emploie aussi beaucoup riques crues. Dans les faubourgs de Beauvais et de Reims, par nple, on voit des maisons qui en sont entièrement construites. briques ont ordinairement les dimensions des briques cuites loyées dans la localité; celles de Champagne ont 0m,30 de lonur, 0m,14 de largeur et 0m,07 à 0m,08 d'épaisseur.

s briques crues se fabriquent dans des moules réguliers, comme riques cuites. Les meilleures sont d'argile rouge ou blanche e de sable; on en fait aussi avec la boue qui se forme sur les es, laquelle est composée d'argile, de craie et de silex écrasé. noment le plus favorable pour leur fabrication est le printemps automne, saisons pendant lesquelles la dessiccation se fait plus ment et plus également; elles ne s'emploient qu'après qu'elles arrivées, par leur exposition à l'air et au soleil, à une dessicn complète, sans laquelle la gelée, en faisant gonfler l'eau, amèit leur destruction. Les anciens ne les employaient que deux après leur fabrication; alors ils étaient sûrs qu'elles avaient acle degré de solidité dont elles sont susceptibles. Ces briques d'un mauvais usage à l'humidité lorsqu'elles ne sont pas reertes; dans les pays où on les emploie communément, on a de recouvrir les maçonneries de nombreuses couches de peinà la chaux; ou, si l'on veut faire mieux, on applique dessus enduit de chaux, d'argile et de boue, lequel est tout à fait imnéable à l'eau, et leur assure une plus grande durée.

0. *Briques creuses. Poteries. Carreaux.* Depuis quelque temps, brique, au moyen de machines semblables à celles employées faire les tuyaux de drainage, des briques qui ont à peu près les ensions des briques ordinaires, et qui sont percées longitudinalet de trous, ordinairement au nombre de quatre, ayant 23 sur illimètres de section. Ces briques ont été imaginées par M. Borie; me elles sont très-légères, on les emploie pour les planchers, les es et autres constructions auxquels il est important de ne donqu'un faible poids.

Paris, on fait usage, pour la construction des tuyaux de chemidans l'épaisseur des murs, de briques portant l'empreinte d'un uelquefois de deux tuyaux voisins, en même temps que leurs ensions correspondent aux épaisseurs des murs. Ces briques ont maginées par M. Gourlier, dont elles ont pris le nom.

ns le bâtiment, on désigne sous le nom de *poteries*, les *boisr* en terre cuite pour tuyaux de cheminées, les *pots* pour *ouses* à courant d'air, les *mitres* en terre dites à la Fougerole, Ces divers objets sont en grès ou en terre cuite préparée à près de la même manière que celle employée à la fabrication briques.

Depuis quelques années, pour établir des voûtes et des cl... très-légères, on fait usage de poteries creuses de formes et dim... sions diverses ; les unes ont la forme d'un pot à fleurs fer... deux extrémités, et dont les dimensions habituelles sont 0... diamètre moyen sur 0m,15 de hauteur ; les autres sont des cylin... de 0m,05 de hauteur seulement sur 0m,17 de diamètre. Ces p... se fabriquent toutes à peu près de la même manière, au m... d'un tour de potier, avec de la terre préparée comme p... fabrication des tuiles, des briques et des poteries grossièr... le midi de la France, on fabrique encore, pour voûtes lég... prismes creux en terre cuite qui ont 0m,14 de hauteur, de b... hexagonales inscrites dans des cercles de 0m,17 de diamètr... le vide est cylindrique.

Carreaux. On nomme ainsi des petites dalles employées au p... des chambres. On en fait en pierre calcaire, souvent à l'... marbre ; on leur donne les formes triangulaire, carrée, hex... nale, octogonale, que l'on emploie séparément ou combinée... elles (*Int.*, 937).

Les carreaux les plus employés sont hexagonaux et e... cuite préparée comme pour les briques (576). On en fait ... grandeurs ; les uns, employés au pavage des chambres, ont ... d'épaisseur et sont inscrits dans un cercle de 0m,20 de diam... les autres sont inscrits dans un cercle de 0m,14 de diamètr... faut respectivement 40 et 80 pour couvrir un mètre de surfa... le poids du mille varie de 800 à 900, et de 350 à 400 kilog. Ceu... l'on emploie à Paris sont fabriqués en Bourgogne, à Massy à Par... et dans ses environs. Les premiers sont les meilleurs, sur... les lieux humides ; ceux de Massy viennent après, seulement ... moins bien moulés que ceux de Paris, que l'on emploie ordinair...

On fait également en terre cuite, mais en bien moins ... quantité, des carreaux de forme carrée, que l'on n'emploie ... que pour couvrir les fourneaux de cuisines ou daller les chem... d'appartements. On en fabrique de trois échantillons, qui ont ch... leur usage particulier ; ceux des deux premiers échantill... 0m,027 d'épaisseur, et respectivement 0m,20 et 0,16 de côté ; ce... troisième, appelés *carreaux à bandes*, ont 0m,16 de côté, et seul... 0m,02 d'épaisseur.

881. *Carreaux en plâtre.* Avec le mortier de plâtre et des pl... de peu d'épaisseur, on fait des carreaux qui servent à construir... cloisons d'appartement ; ils ont ordinairement 0m,48 de long... sur 0m,32 de largeur, et de 0m,055 jusqu'à 0m,16 d'épaisseur ; l'ép... seur la plus habituelle est de 0m,08, c'est celle qui est la plus co... forme à l'équarrissage ordinaire des huisseries et des poteau... remplissage des cloisons.

ıis quelques années, on fait à Paris des carreaux creux en , ayant à peu près les même dimensions que les précédents ; l'avantage d'être très-légers, et surtout d'assourdir les apparte- divisés par les cloisons qui en sont construites.

Plâtre, sa cuisson, son emploi. (*Art.* n°° 70 et suivants.) Le : de chaux, que l'on désigne sous le nom de *gypse*, fournit le quand on lui fait perdre son eau de cristallisation en l'expo- une certaine température.

: reconnu que les grandes couches de pierre à plâtre surmon- ıuvent des bancs de pierre calcaire sans en être jamais sur- es ; d'où on est porté à conclure qu'elles sont d'une formation ;cente.

ulfate de chaux pur ne donne pas d'étincelle sous le choc de et ne fait pas effervescence avec les acides.

:aux de puits des environs de Paris contiennent une certaine té de ce sel en dissolution. On dit alors qu'elles sont *séléni-* et, dans ce cas, elles sont impropres aux usages domestiques, ıe le savonnage, la cuisson des légumes, etc. Si l'on évapore antités souvent répétées de cette eau, comme dans les chau- à vapeur, il se forme un dépôt de sulfate de chaux hydratée. ulfate de chaux est peu soluble dans l'eau ; à la température ire, il se dissout dans environ cinq cents fois son poids d'eau. ximum de solubilité correspond à + 35° ; à 0°, cent parties n dissolvent $0^{g},205$, et à 35°. $0^{g},254$; au-dessus de 35°, la solu- liminue à mesure que la température augmente, et à 100°, ırties d'eau n'en dissolvent que $0^{g},217$.

ypse, chauffé à 120 ou 130 degrés, abandonne complétement ı, et se change en sulfate de chaux anhydre ; mais à cet état, contact avec l'eau, il reprend facilement celle qu'il a perdue, ıauffe d'une manière sensible. Pour que ce dernier effet se ste, il faut que le gypse n'ait pas été trop chauffé ; ainsi, : la température s'élève seulement à 160 degrés, la matière 'end plus son eau que très-lentement. Le sulfate de chaux e de la nature, *l'anhydrite*, ne se combine pas avec l'eau. Il porte comme le gypse qui a été calciné au rouge. Le sulfate ıx fond à la température rouge, et il se solidifie par le refroi- :nt en une masse cristalline.

ours le plus employés à la cuisson des pierres à plâtre se com- d'un mur de $4^{m},50$ formant le derrière du four, et de deux construits perpendiculairement au premier, et destinés à er un comble à deux égouts, dont les tuiles sont posées à oie, afin de laisser passer la fumée et la vapeur.

cette espèce de hangar, dont le devant reste entièrement on établit, parallèlement aux murs de côté, plusieurs petites

galeries voûtées de $0^m,65$ environ de hauteur sur $0^m,50$ de lar-
séparées par des piliers de même largeur. Ces galeries se font
les plus gros morceaux de pierre à plâtre, en ayant soin de
de petits vides dans les voûtes pour faciliter le passage de la
On place alors de la pierre à plâtre sur les voûtes, jusqu'à la haut
$4^m,50$ des murs du four, en terminant par une couche d'éclat
venant des résidus de l'extraction.

On remplit alors les galeries de fagots, de bourrées ou
fendu; on y met le feu, que l'on active graduellement au com-
ment; puis on entretient une chaleur régulière jusqu'à la
l'opération. La cuisson étant complète, on recouvre la masse
couche de poussier de pierre à plâtre et on laisse refroidir.

Le quantité de bois brûlée dans ces fours varie évidemment
vant l'essence et l'état de dessiccation du bois.

TABLEAU des résultats moyens obtenus pour trois fours différents contenant chacun 60 mètres cubes de plâtre.

BOIS.	FAGOTS OU BOURRÉES.		COMBUSTIBLE [illegible]	
	Nombre.	Poids de chaque.	en totalité.	[illegible]
Chêne	550	23k.00	12 650 k.	[illegible]
Bouleau et châtaignier mélangés. .	700	16 .50	11 550	[illegible]
Chêne et charme mélangés	900	9 .00	8 400	[illegible]

La durée de la cuisson du plâtre varie de 10 à 15 heures; elle
pend de la quantité de pierre mise au four, de l'état de dessic-
du bois et de l'état de l'atmosphère. L'habitude indique
point auquel il faut arrêter le feu, et ce moment est très-impor-
à saisir, car la bonne qualité du plâtre dépend en grande partie
sa cuisson à un degré précis, en deçà et au delà duquel on
qu'un plâtre très-inférieur.

La cuisson du sulfate de chaux s'opère aussi dans des fours
gues à ceux employée pour cuire la brique au moyen du bois
mais à un seul compartiment. La figure 18, planche II, repré-
un de ces fours.

TABLEAU du nombre des fagots brûlés pour la cuisson d'une fournée de 8 mètres cubes de plâtre, pendant chaque heure de cuisson.

Heures. . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	[illegible]
Fagots	13	20	28	27	26	27	28	26	25	[illegible]

Total : 253 fagots, dont le poids est $8^k,7 \times 253 = 2201$ kilog.
qui fait 275 kilog. par mètre cube de plâtre.

· cuire le plâtre, on modère le feu en commençant, et on l'aug-
graduellement jusqu'à ce que le sulfate ait perdu toute son eau
tallisation. Son poids a alors diminué de 1/4 environ.
nd le plâtre est convenablement cuit, l'ouvrier qui l'emploie
en le maniant, qu'il est doux et qu'il s'attache aux doigts; c'est
indices que l'on peut surtout reconnaître le bon plâtre; les
s qu'il forme sont d'un grain fin et agréable à l'œil. Lorsqu'il
pas assez cuit, il est aride, n'absorbe l'eau qu'imparfaitement et
me pas un corps assez solide. Quand il est trop cuit, il refuse
parce qu'il est en partie vitrifié; il est devenu maigre, grave-
il s'égrène au lieu de former un corps solide quand il est em-

plâtres de mauvaise qualité sont en général d'une couleur jau-
; ils sont rudes au toucher comme la pierre calcaire pulvérisée,
nt longs à prendre; ils donnent des enduits qui ne résonnent
ous la truelle brettée; ils se rayent profondément et se gercent
ment.

plâtre exposé à l'air absorbe l'humidité et perd ses qualités,
doit-on l'utiliser le plus tôt possible après sa cuisson. Si on le
le loin il convient, pour les mêmes raisons, de faire venir la
e, que l'on cuit au moment d'employer le plâtre. Lorsque l'on
conserver le plâtre, il faut apporter le plus grand soin à le pré-
er du contact de l'air.

existe des plâtres dont la prise serait tellement prompte, immé-
ment après la cuisson, que l'ouvrier n'aurait pas le temps de
ployer; c'est ce qui fait que quelquefois des compagnons intel-
its, pour tirer le meilleur parti possible de leur plâtre, le lais-
reposer 4 ou 5 jours avant de l'employer.

plâtre réduit en poudre, soit en le battant, soit au moyen de
les ou de cylindres, n'a pas besoin du concours d'autres matières
former un corps d'une dureté moyenne; il suffit d'y mélanger
certaine quantité d'eau, qui produit une cristallisation confuse
it reprendre au plâtre à peu près sa solidité primitive, c'est-à-dire
d'une pierre tendre.

plâtre jouit de la propriété d'adhérer au bois et à la pierre; mais
ut éviter de l'employer dans les lieux humides; au sec il se con-
e parfaitement bien.

ur gâcher le plâtre, il faut à peu près autant d'eau que de plâtre.
ndant on varie cette quantité d'eau suivant l'usage auquel on des-
le plâtre; ainsi, on la prend plus petite, c'est-à-dire qu'on *gâche*
, quand on a besoin que le plâtre conserve toute sa force; mais
s il faut l'employer sitôt qu'il a été gâché; on met plus d'eau,
-à-dire qu'on *gâche clair*, quand l'emploi du plâtre exige plus de
ps; enfin on gâche avec plus d'eau encore, c'est-à-dire qu'on

forme ce qu'on appelle un *coulis*, quand le plâtre doit être emplo-
pour boucher des trous où la truelle ne peut atteindre.

A Paris, pour l'emploi ordinaire du plâtre, la quantité d'eau à mettre dans l'auge, pour un voyage de garçon, est d'environ deux seaux; pour *deux truellées*, un seau et demi; *une truellée*, un seau; *une demi-truellée*, un demi-seau, et *une poignée*, un quart de seau. Quand le maçon crie de lui gâcher *gros comme un œuf*, il demande à peu près la moitié d'une poignée.

Par expérience on a reconnu :

1° Que pour le plâtre bien cuit, passé au sas et destiné à faire des enduits, il faut environ 30 litres d'eau pour gâcher un sac de plâtre contenant 25 litres;

2° Que pour le plâtre bien cuit, passé au panier et gâché pour hourder les maçonneries ou pour faire les crépis, il faut, en moyenne, 18 litres d'eau par sac de plâtre de 25 litres;

3° Que le plâtre non assez ou trop cuit absorbe 1/8 d'eau de moins que les précédents.

En général, une pierre à plâtre, cuite à un degré convenable et écrasée ensuite, absorbe un volume d'eau à peu près égal à celui qu'elle contenait avant la cuisson.

Une précaution à prendre quand on gâche le plâtre, c'est de mettre d'abord la quantité d'eau nécessaire dans l'auge, et d'y semer ensuite uniformément le plâtre à l'aide de la truelle. Le garçon apporte le tout au maçon, qui le remue avec une truelle en cuivre qu'il agite dans tous les sens, en cassant les mottes avec la main gauche. Si le plâtre gâché est un peu clair pour être employé, le maçon le laisse un peu *couder*, c'est-à-dire prendre une légère consistance; alors il l'emploie avec rapidité, car une fois que le plâtre a commencé à couder, il n'est pas longtemps à prendre.

Un mètre cube de plâtre en poudre produit environ 1m,18 de mortier, et le gonflement, après 24 heures d'emploi, est environ 1 pour 100, dont la moitié était produite après la première heure de mise en œuvre.

Sous le rapport de l'emploi du plâtre dans les constructions, on le distingue de trois sortes :

1° Le *plâtre au panier*. C'est celui qui est à l'état dans lequel le fabricant le livre à l'entrepreneur; on l'emploie pour faire les aires de plancher, hourder les murs et pans de bois, et faire les crépis. On appelle encore ainsi le plâtre tamisé dans un panier d'osier; il est plus fin que le précédent, et il sert ordinairement à faire les crépis d'une faible *charge* (épaisseur);

2° Le *plâtre au sas*. C'est celui qui est passé dans un tamis de crin; il sert ordinairement à faire les enduits et les moulures;

3° Le *plâtre au tamis de soie*. Il est utilisé pour faire les beaux enduits et moulures qui doivent recevoir de la peinture.

On distingue encore les *mouchettes* et la *fleur de plâtre*. Les mouchettes sont les résidus provenant du passage du plâtre au sas. On les utilise ordinairement en les mêlant avec de l'autre plâtre pour faire de gros ouvrages.

La fleur de plâtre est le plâtre qui se trouve en poussière plus fine encore que celui passé au tamis de soie. On l'obtient en faisant sauter du plâtre sur une pelle, à laquelle

s'attache assez facilement; c'est de ce mode de préparation que lui vient le plâtre à la pelle, que lui donnent les maçons. On l'emploie ordinairement pour moulures, c'est-à-dire pour boucher les petits trous.

plâtres employés à Paris sont tirés des carrières de Montmartre, Ménilmontant, Belleville, Charonne, Montreuil, etc.; celui de est le plus estimé.

Chaux. La chaux pure est du protoxyde de calcium (CaO); t blanche, caustique, elle attaque rapidement les tissus des es animales. Elle ramène au bleu la teinture de tournesol par un acide, verdit fortement le sirop de violettes, rougit la e de curcuma. Le poids de son équivalent est 356, et sa den- t égale à 2,3 environ. Elle est infusible aux températures les levées de nos fourneaux.

arbonate de chaux pur se compose de 56,40 de chaux et de d'acide carbonique.

chaux se combine avec l'eau, en dégageant beaucoup de cha- une portion de l'eau s'échappe en vapeur, et l'élévation de tem- re est souvent assez grande pour enflammer la poudre (300° on); elle fait entendre le même bruit qu'un fer rouge trempé l'eau; on dit qu'elle *fuse*. L'opération par laquelle on combine la x avec l'eau s'appelle *éteindre la chaux*, et la *chaux hydratée* que btient prend le nom de *chaux éteinte*, pour la distinguer de la *anhydre*, qu'on appelle *chaux vive*. La chaux, en s'hydratant, ente considérablement de volume; on dit qu'elle *foisonne* beau- . Si la quantité d'eau n'est pas trop grande, il se forme un mono- ate de chaux (CaO + HO), qui reste sous la forme d'une poudre he, fine, douce au toucher. En ajoutant une plus grande quan- l'eau, la chaux reste en suspension quand on agite, et on obtient *it de chaux*.

chaux se dissout dans environ 700 fois son poids d'eau à 15°, ns 1270 fois à la température d'ébullition. La dissolution prend m d'*eau de chaux* : elle exerce une réaction fortement alcaline.

chaux vive, exposée à l'air, attire rapidement l'eau et l'acide onique de l'atmosphère; elle se *délite*, c'est-à-dire tombe en sière, et elle ne s'échauffe plus quand ensuite on la mouille avec au. Le produit qu'on obtient ainsi à l'air est un composé défini lrate et de carbonate de chaux ($CaO.CO^2 + CaO.HO$), auquel se re mélangé beaucoup d'hydrate de chaux dû à ce que l'air atmo- rique contient beaucoup plus de vapeur d'eau que d'acide carbo- e; mais à la longue, l'absorption de l'acide carbonique conti- it incessamment, toute la matière se rapproche de plus en plus composition définie par la formule précédente.

chaux que l'on consomme dans les arts, pour la confection des

mortiers, s'obtient en calcinant dans de grands fours, dits *fours à chaux*, le carbonate de chaux plus ou moins pur, que l'on rencontre en abondance dans la nature. La décomposition a lieu à une température bien inférieure à celle nécessaire à l'opération dans des vases fermés; ce qui est dû au courant gazeux, lequel n'est composé d'acide carbonique qu'en faible proportion, et qui, en traversant la masse, facilite la décomposition. L'expérience a démontré que la cuisson de la chaux était singulièrement facilitée par la présence de la vapeur d'eau; c'est pour cette raison que les chaufourniers préfèrent employer une pierre encore imprégnée de son eau de carrière, à celle qui a subi une certaine dessiccation par une exposition plus ou moins prolongée à l'air.

Il arrive souvent qu'une partie du calcaire n'a pas été complètement décomposée par la chaleur et retient une plus ou moins grande proportion d'acide carbonique; on donne à ces produits le nom d'*incuits*.

On désigne sous le nom de *pierre à chaux* toutes les variétés de pierres qui contiennent le carbonate de chaux, lequel, soumis à une température suffisante, perd son acide carbonique et devient chaux.

Toutes les pierres calcaires peuvent se convertir en chaux par la calcination, toutes font une effervescence plus ou moins vive quand on en jette un fragment dans l'acide azotique (eau forte) et une pointe de fer suffit ordinairement pour les rayer profondément.

La propriété particulière à toutes les chaux est de servir de lien dans les mortiers, bétons et ciments employés dans les constructions, et de se combiner, par l'intermédiaire de l'eau, à la silice que contient le sable. De l'effet complexe de la combinaison chimique de la chaux avec la silice, de l'absorption de l'acide carbonique de l'air et de l'évaporation de l'eau, le mortier durcit et adhère aux matériaux de construction, de manière à constituer une seule masse plus ou moins homogène et plus ou moins solide.

La chaux considérée sous le rapport de la quantité d'eau nécessaire pour la réduire en pâte, et sous celui de la dureté que cette pâte peut acquérir sous l'eau, se divise en plusieurs espèces que nous allons passer en revue.

Les pierres calcaires sont rarement du carbonate de chaux pur; celles que l'on soumet à la cuisson en grand renferment en général des quantités notables de matières étrangères, telles que quartz, oxydes de fer et de manganèse, magnésie, argile, etc. Les qualités de la chaux dépendent beaucoup, non-seulement de la quantité de matières étrangères contenues dans la pierre calcaire, mais aussi de la nature de ces matières.

haux grasse. Lorsque la pierre calcaire ne renferme qu'une petite quantité de s étrangères, elle donne une chaux dont les propriétés se rapprochent beau- celles de la chaux chimiquement pure. Elle foisonne considérablement avec l'échauffe beaucoup; elle forme une pâte liante, grasse au toucher; on l'appelle *grasse.* Dans les mortiers, cette chaux, en séchant et fixant graduellement l'acide ique de l'atmosphère, durcit en passant à l'état de carbonate, ou mieux, d'hy- bonate. Le sable ne remplit qu'un rôle purement mécanique : il sert à diviser , à augmenter sa perméabilité; et par suite à favoriser sa combinaison avec carbonique; il joue de plus le rôle de centres ou noyaux autour desquels vient alliser le carbonate de chaux; il empêche aussi la matière de prendre un trop retrait en séchant. Les parties de mortiers qui sont en contact immédiat avec changent entièrement en carbonate de chaux; mais les parties intérieures pas- ulement à l'état d'une combinaison de carbonate de chaux et d'hydrate, qui rt beaucoup de dureté. Il faut un temps extrêmement long pour que cette com- n ait lieu d'une manière complète; en effet, au bout d'un grand nombre d'an- la chaux existe encore presque entièrement à l'état de chaux hydratée dans l'é- ur des murs. Il convient de ne pas placer ces mortiers dans l'intérieur de con- ions trop épaisses, où ils ne peuvent sécher, et il faut s'en abstenir dans les lieux les ou souterrains et à plus forte raison sous l'eau, où ils se délayent complétement. mortier prend une plus grande consistance que l'hydrate de chaux pur, et l'ad- ce de celui-ci à la pierre est plus grande que sa cohésion. Il convient, pour fa- r le durcissement du mortier, qu'il ne soit pas placé en couches trop épaisses entre ierres. Il est convenable aussi que les pierres ne soient pas trop sèches, sans quoi absorbent l'eau de l'hydrate, lequel durcissant trop promptement n'acquiert pas la consistance dont il est susceptible. C'est ce qui explique pourquoi on projette au sur la surface des pierres qui sont trop sèches avant d'y appliquer le mortier.

e propriété particulière à la chaux grasse est que son volume augmente à l'extinc- au moins du quart de son volume primitif, souvent de deux fois et demie ce vo- , et quelquefois de trois à quatre fois. Cette chaux est celle qui profite le mieux ntrepreneurs, à cause de la grande quantité de mortier qu'elle fournit; on l'em- pour les maçonneries ordinaires, mais il faut s'en abstenir pour les travaux hy- iques ou souterrains, attendu qu'elle ne durcit qu'imparfaitement.

ns un volume d'eau indéfini, la chaux grasse se combine rapidement avec un poids à peu près égal aux 0,25 du sien; retirée et exposée à l'air, elle fuse avec déga- nt de chaleur en se réduisant en poudre impalpable. L'*hydrate de chaux* obtenu encore absorber une grande quantité d'eau, mais sans qu'il y ait ni combinaison gagement de chaleur. Cet excès d'eau, qui donne naissance à une pâte plus ou s ferme, peut se dégager en assez grande quantité par le rebattage pour qu'il soit e d'en ajouter de la nouvelle quand on fabrique le mortier.

mortiers de cette chaux restent mous, comme le ferait la chaux seule, quand on ive du contact de l'air, ou plutôt de l'acide carbonique.

près M. Vicat, 100 parties de chaux grasse absorbent, en se solidifiant, 74 parties le carbonique et en retiennent 17 d'eau.

Chaux maigre. Quand le calcaire soumis à la cuisson renferme des quantités no- s de matières étrangères, telles que sable quartzeux, oxydes de fer et de manganèse, nate magnésien, la chaux obtenue, dite *chaux maigre*, développe peu de chaleur l on la met en contact avec l'eau; elle foisonne moins que la chaux grasse, et ne pas une pâte liante. Comme la chaux grasse, elle durcit à l'air avec le temps, et se désagrége dans l'eau. A défaut d'autre, on l'emploie aux mêmes usages que la grasse.

Chaux hydraulique. Si la matière étrangère que contient le calcaire est de l'ar- ou de la silice dans un certain état de division, et que sa proportion s'élève au à 10 ou 15 pour 100 du poids du calcaire, la chaux qui en résulte est encore *haux maigre;* elle ne foisonne pas ou que très-peu, et ne développe pas de cha- à l'extinction; mais elle jouit de la propriété remarquable de faire prise sous l'eau,

après un temps plus ou moins long, pourvu qu'elle n'ait pas été trop fortement calcinée. Cette propriété lui a fait donner le nom de *chaux hydraulique*.

L'hydraulicité de cette chaux est due à ce que dans la cuisson du calcaire, il s'établit une combinaison chimique entre la chaux et la silice divisée à laquelle elle est mélangée, soit que cette dernière y existe à l'état libre ou qu'elle s'y rencontre à l'état d'argile. En effet, si l'on traite la chaux hydraulique par un acide, on met en liberté de la silice en gelée, ce qui prouve que cette substance s'y trouvait à l'état de combinaison. D'une autre part, en mélangeant du sable quartzeux avec une quantité convenable de carbonate de chaux, on n'obtient jamais qu'une chaux maigre non hydraulique; tandis que si l'on remplace le sable par un poids égal de silice gélatineuse desséchée, puis amenée sous forme de poussière farineuse, on obtient une chaux douée de propriétés hydrauliques.

Ces expériences montrent que la solidification des chaux hydrauliques sous l'eau provient d'une combinaison qui se fait entre l'hydrate de chaux et les silicates d'alumine et de chaux; cette combinaison détermine une nouvelle agrégation de la matière, et rend la chaux insoluble. Ces expériences font voir, en outre, la possibilité de fabriquer artificiellement des chaux hydrauliques en mélangeant du carbonate de chaux et de l'argile dans des proportions convenables.

L'argile et la silice désagrégée ne sont pas les seules matières qui communiquent à la chaux des propriétés hydrauliques. La magnésie produit, à un moindre degré, il est vrai, un effet semblable. Le carbonate de chaux lui-même, lorsqu'il est mélangé dans des proportions convenables à la chaux, lui fait acquérir de faibles propriétés hydrauliques: tel est le résultat que présentent les incuits.

La chaux hydraulique éteinte à la manière ordinaire solidifie, comme la chaux grasse, une certaine quantité d'eau, et forme, avec une addition d'eau, une pâte plus ou moins ferme, laquelle, exposée à l'air, se solidifie en absorbant une moindre quantité d'acide carbonique que la chaux grasse, et en retenant également une certaine proportion d'eau.

D'après M. Vicat, 100 parties d'une chaux hydraulique contenant 1/5 de son poids d'argile absorbent, en se solidifiant, 54 parties d'acide carbonique et en retiennent 15 d'eau. Ainsi ce produit, composé de 100 parties de chaux, 25 d'argile, 67,5 d'acide carbonique et 18,7 d'eau, est encore un hydro-carbonate de chaux, dans lequel l'argile paraît être en dehors de la combinaison.

4° *Chaux-ciment* ou *ciment romain*. On trouve dans la nature des mélanges intimes de calcaire et d'argile, des *calcaires argileux*, qui donnent immédiatement des chaux hydrauliques à la cuisson. On a reconnu par expérience que pour qu'un calcaire possède les propriétés hydrauliques, il doit renfermer au moins 10 ou 12 pour 100 d'argile. La chaux qui en provient, gâchée avec de l'eau, durcit en vingt jours environ dans les lieux humides ou sous l'eau. Quand le calcaire renferme de 20 à 25 pour 100 d'argile, la chaux gâchée fait prise en deux ou trois jours. Enfin, si le calcaire renferme de 27 à 35 pour 100 d'argile, la chaux fait prise en quelques heures, et on lui donne le nom de *chaux ciment* ou de *ciment romain*.

Lorsque les calcaires renferment plus de 30 à 35 pour 100 d'argile, ils ne donnent plus de ciment par la cuisson; la matière ne fournit plus une pâte assez liante avec l'eau.

La chaux-ciment n'est pas susceptible de fuser; mais, réduite en poudre, puis en pâte, elle prend corps très facilement. A la cuisson, il se forme un silicate de chaux plus ou moins abondant, et la chaux qui est restée libre ne peut plus fuser, de sorte que l'eau est sans action sur toute la masse de cette chaux quand elle sort du four; mais, réduite en poudre et mouillée d'une quantité d'eau suffisante pour en faire une pâte, il se produit une cristallisation confuse, et la pâte prend corps sous l'eau, d'autant plus rapidement que le silicate est plus abondant, si toutefois il n'est pas en quantité suffisante pour nuire à l'action réciproque des molécules les unes sur les autres.

La chaux-ciment fait prise d'autant plus rapidement qu'elle n'a pas été exposée à l'air

a sortie du four, et à ce moment, si on la broie et si on l'utilise immédiate- a prise est quelquefois si rapide qu'on n'a pas le temps de l'employer.

isson des calcaires hydrauliques, et surtout celle des ciments, demande à être c des précautions particulières. Si la température s'élève trop, la matière ac- e l'agrégation, par suite d'une combinaison trop intime de la chaux avec le l'alumine, et il ne se forme plus de nouvelle combinaison lorsqu'on mélange la avec l'eau. La chaleur doit être la plus faible possible, et seulement suffisante re perdre au carbonate de chaux la plus grande partie de son acide carbonique, gile son eau.

élange ordinairement avec les ciments, et surtout avec les chaux hydrauliques, es quartzeux, dans le but d'augmenter leur dureté et de faire prendre au mor- plus grand volume.

s *ciments hydrauliques* ou *pouzzolanes* étant composés de 64 à 90 d'argile pour de chaux, renferment, après la cuisson, du silicate de chaux, sans qu'il y ait chaux libre pour que le résidu de la calcination, réduit en poudre, fasse pâte, ne produit aucun effet sur cette poudre, que l'on ne peut utiliser qu'en y mé- t une certaine proportion de chaux grasse. Le silicate se trouve, suivant les pro- de chaux qu'il contient, dans les mêmes conditions que dans une chaux plus is hydraulique, ou que dans la chaux-ciment.

ments de briques ou *de tuiles*. Ces matériaux contenant généralement moins de chaux, ils sont encore en dehors des pouzzolanes; mais cependant celle qu'ils t contenir est combinée avec la silice, et l'on remarque, quand l'argile n'a pas été ite, que de la chaux grasse, combinée avec ces matières pulvérisées, donne un qui a un léger degré d'hydraulicité.

ne la pulverisation de la brique ou de la tuile est coûteuse, il vaut mieux, au faire usage de ces matières, fabriquer des pouzzolanes énergiques, dont une quantité, mélangée au mortier ordinaire de chaux grasse, suffit pour faire un n mortier hydraulique. Ce n'est qu'à défaut de toute autre matière qu'on doit ecours à l'emploi du ciment de briques ou de tuiles.

rès M. Vicat, de l'argile, après une première cuite, donnant à la combinaison chaux une énergie représentée par 1, bis-cuite, cette énergie est représentée 0, et demi-vitrifiée par 0,19 ; on voit donc que c'est une erreur de croire que la la plus cuite est la plus convenable pour la fabrication des mortiers.

I. *Composition des diverses espèces de chaux.* L'analyse a fait naître, comme le confirme le tableau suivant : 1° que le carbo- le chaux qui fournissait la chaux grasse contenait moins de le matières étrangères; 2° qu'au-dessus de 1/10, il donnait une d'autant plus maigre que cette proportion de matières étran- était plus grande; 3° que la propriété hydraulique était due à la ation, au feu, du silicate de chaux, c'est-à-dire que la silice t un rôle essentiel dans la combinaison, mais que cette combi- n n'avait lieu qu'autant que la silice se trouvait en gelée ou te à un état de ténuité extrême dans son mélange avec le car- te de chaux.

TABLEAU de la composition de quelques chaux, d'après les analyses de M. Berthier.

grasse de Château-Landon	96,40 chaux pure. 1,80 magnésie. 1,80 argile (silice et alumine).

Chaux maigre non hydraulique de Coulommiers . . .	78,00	chaux pure.
	20,00	magnésie.
	2,00	argile (silice et alumine).
Chaux moyennement hydraulique de Saint-Germain.	89,00	chaux pure.
	1,00	magnésie.
	10,00	argile (silice et alumine)
Chaux très-hydraulique de Senonches	70,00	chaux pure.
	1,00	magnésie.
	29,00	silice.

A ce tableau on peut ajouter :

Chaux maigre non hydraulique de Brest	82,30	chaux pure.
	10,00	oxyde de fer.
	7,70	argile.

Ces analyses font voir que la magnésie et l'oxyde de fer rendent la chaux maigre non hydraulique, et que la silice pure ou mélangée d'alumine lui communique la propriété hydraulique.

M. Berthier, en opérant par synthèse, a obtenu, pour la même composition, des chaux jouissant des mêmes propriétés que celles du tableau précédent, et il a reconnu de plus :

1° Que la silice en gelée, calcinée avec de la chaux pure, donnait un produit hydraulique ;

2° Que l'alumine, la magnésie, l'oxyde de fer et celui de manganèse, calcinés un à un avec de la chaux pure, donnaient une chaux maigre ;

3° Que l'alumine et la magnésie, mêlées avec la silice, exaltaient la propriété hydraulique ; mais que les proportions les plus convenables par ce mélange étaient une partie de silice pour une partie d'alumine ou une partie de magnésie.

Avant ces analyses, M. Vicat avait remarqué que si l'on faisait cuire dans un four un mélange d'argile et de chaux éteinte ou de chaux réduite en pâte, on obtenait de la chaux hydraulique quand la proportion d'argile était de au moins 10 pour 90 de chaux, et que la chaux était d'autant plus hydraulique que la proportion d'argile était plus considérable ; mais que si cette proportion d'argile dépassait 34 pour 66 de chaux, le composé ne fusait plus.

Depuis que cette théorie a été clairement établie, on a fait, par la synthèse, des essais avec tous les composés qu'il était possible d'obtenir en faisant varier les proportions de chaux et d'argile ; ces essais ont conduit à ranger les chaux sous les dénominations suivantes :

	Argile.	Chaux
Chaux hydrauliques, celles qui contiennent	0,10	0,90
	0,20	0,80
	0,30	0,70
Limite.	0,34	0,66
Chaux-ciments, celles qui contiennent.	0,40	0,60
	0,50	0,50
	0,60	0,40
Limite.	0,61	0,39

	Argile.	Chaux.
Ciments hydrauliques ou *pouzzolanes*, celles qui contiennent.	0,70	0,30
	0,80	0,20
	0,90	0,10

Ciments ordinaires, celles qui contiennent plus de 0,90 d'argile.

Ces différentes espèces de chaux se distinguent par les propriétés ue nous avons énoncées précédemment.

Les chaux maigres non hydrauliques, c'est-à-dire les chaux ou arbonates de chaux dans lesquels il entre une quantité notable 'oxyde de fer ou de magnésie, ne sont pas propres à cette transforation en chaux hydraulique par le concours de l'argile et du feu; n est obligé, pour leur donner cette qualité, d'employer, non pas e l'argile, mais de la pouzzolane ou ciment hydraulique obtenu par a calcination de l'argile calcaire.

Avec les chaux hydrauliques qui contiennent la limite d'argile, 'est-à-dire 34 d'argile pour 66 de chaux, on fait d'excellents mortiers ui durcissent rapidement; mais il faut que toutes les molécules de haux soient attaquées par l'eau au moment de l'extinction; car, s'il n reste de libres, elles fusent seulement dans la masse et en désarègent toutes les parties, qui ne peuvent plus ensuite prendre auune consistance. Pour éviter cet inconvénient, qui s'est déjà présenté, on pourrait pulvériser ces chaux limites, comme on le fait pour les chaux ciments; toutes les molécules de chaux étant ainsi mises à peu près dans les mêmes conditions pour leur extinction, l'inconvénient signalé ne serait plus à redouter.

585. *Recherches et moyens de se procurer de la chaux hydraulique.* La chaux hydraulique est fournie par la simple cuisson du calcaire naturel qui contient tous les éléments de cette chaux (583 et 584); mais, dans les localités où ce calcaire ne se trouve pas, on fabrique la chaux hydraulique en faisant un mélange intime de tous les éléments qui doivent entrer dans sa composition. On conçoit que l'on ne doit avoir recours à ce second mode de fabrication qu'à défaut de carbonate hydraulique naturel.

Lorsqu'on aura besoin de se procurer de la chaux hydraulique dans une localité, on se guidera dans ses recherches en se rappelant que c'est le mélange de l'argile au carbonate calcaire qui fournit toutes les variétés de chaux hydrauliques, et que par conséquent les carrières où alternent les bancs d'argile et de pierre calcaire sont celles où il y aura le plus de chances de succès, quand toutefois ces bancs feront partie d'une même formation. Il ne faut pas négliger ces recherches, parce que dans la localité on n'a encore fabriqué que de la mauvaise chaux; cela peut provenir de l'absence ou de la mauvaise direction de recherches antérieures; ainsi, à Paris, on a fait venir pendant longtemps de la chaux hydraulique de Senonches,

qui coûte 80 fr. le mètre cube, tandis que les buttes Montmartre, Chaumont et Romainville contiennent des calcaires fournissant en abondance toutes les variétés de chaux hydrauliques.

Comme on ne rencontre aucun calcaire argileux dans les divisions supérieures du *terrain crétacé supérieur* (562), il est inutile d'y faire des recherches ; mais les divisions inférieures sont plus favorables. on y rencontre une craie marneuse qui repose sur l'argile du gault auquel elle est souvent liée par une transition insensible. On y trouve une proportion d'argile d'autant plus grande que l'on s'approche davantage du gault ; ainsi, de 7 à 8 pour 100 que contiennent les bancs supérieurs, on arrive quelquefois à 40 ou 45 pour 100. Les chaux hydrauliques provenant de cette formation ont quelquefois l'inconvénient d'éprouver un retrait sensible quand, après avoir été placées sous l'eau, elles se trouvent exposées à l'air ; pour éviter cet effet, dangereux dans les constructions, on fait le mortier très-ferme et avec un bon sable siliceux.

Les calcaires que l'on rencontre dans le *terrain crétacé supérieur* donnent de bonnes chaux hydrauliques, mais ils ne s'y trouvent en général qu'en couches très-minces ou en rognons.

Dans certaines localités, le *terrain suprajurassique* fournit des calcaires contenant de l'argile et du carbonate de magnésie. Lorsque l'argile est en proportion convenable (de 8 à 10 pour 100), ce calcaire donne une bonne chaux hydraulique. La présence de l'argile se reconnaît par une couleur jaune foncé ou brun, une forte odeur terreuse et un toucher onctueux.

L'étage jurassique supérieur, qui comprend toutes les formations à grandes alternances de calcaires et de marnes, se divise en plusieurs groupes intéressants à étudier sous le rapport de leurs produits en chaux hydrauliques.

Les *calcaires portlandiens* supérieurs contiennent des dolomies vertes qui donnent de la chaux hydraulique ; mais ceux inférieurs n'en renferment pas.

Les *calcaires kimméridiens* supérieurs et les marnes calcaires de ce groupe jouissent de propriétés hydrauliques variables, mais faibles en général. Dans l'étage moyen et dans l'étage inférieur, ces qualités sont plus prononcées, et les chaux hydrauliques qu'on en tire seraient excellentes si, par l'effet des fossiles qui y abondent quelquefois, elles n'avaient pas l'inconvénient de se diviser en strates.

L'*oxford-clay* est abondant en calcaire argileux fournissant de la bonne chaux hydraulique.

La *grande oolite* ou *oolite inférieure* contient des calcaires argileux et magnésiens.

Le *lias*, surtout, renferme des assises marno-calcaires à chaux hydrauliques et à ciments.

Dans le terrain *keuprique*, les *marnes irisées* fournissent des calcaires magnésiens.

Le *muschelkalk*, plus riche en pierre de taille très-dure qu'en chaux

lique, fournit cependant quelquefois des calcaires marneux et
caires argilo-magnésiens donnant de la chaux hydraulique.
ormations du *grès bigarré* et du *zechstein* sont dans le même
: le muschelkalk.

emontant encore l'échelle géognostique, arrivé au *terrain de*
ion, on ne trouve plus que du calcaire pur.

ndications précédentes peuvent guider dans la recherche des
: à chaux hydrauliques ; mais, comme souvent au-dessus et
sous d'un banc de calcaire argileux se trouve du calcaire pur,
obligé, pour s'assurer des propriétés de la chaux, d'avoir re-
à quelques essais.

ı traitant le calcaire par l'acide chlorhydrique toute la masse
out, on est sûr qu'il ne peut fournir qu'une chaux grasse ; si
traire il reste un produit insoluble, on doit s'attendre à obte-
e chaux maigre ; mais pour savoir si elle est hydraulique ou
l faut faire cuire un échantillon de cette pierre, excepté quand
du insoluble est un sable grossier, car alors on est sûr que la
ne vaudra rien. Cependant, comme les chaux maigres non
uliques sont rares en comparaison des chaux hydrauliques, il
poir de succès, dès qu'on obtient un résidu insoluble.

ci ce que dit M. Vicat au sujet de la recherche des chaux hydrau-
s : « Il est peu de départements, les pays granitiques exceptés,
n ne puisse rencontrer du calcaire argileux. Il faut le chercher
persévérance ; les indications de MM. les ingénieurs des mines
nt être d'un grand secours ; conclure la non-existence de la
: à chaux hydraulique de la nature de la masse principale,
s accidents du sol mettent en évidence, serait une erreur ; la
osition du calcaire varie à chaque instant, et souvent celui que
herche n'est qu'à une petite distance de la pierre à chaux com-
; l'une et l'autre se trouvent quelquefois dans la même carrière,
ées seulement par un ou deux bancs. Les renseignements des
ns et des chaufourniers peuvent être d'ailleurs d'un utile con-
; si on les interroge sur les diverses chaux des pays qu'ils
nt, ils ne manquent jamais de désigner les chaux hydrau-
s comme les plus mauvaises, il faut insister pour qu'ils en fassent
ion. »

. *Chaux hydrauliques artificielles.* Lorsque les recherches et
sais indiqués au numéro précédent ne conduiront à aucun
at satisfaisant, on aura recours à la chaux hydraulique artifi-
que l'on fabriquera de toutes pièces, par un des deux procédés
ous allons examiner.

premier procédé consiste à mélanger à du carbonate calcaire,
en bouillie, de l'argile dans les proportions qui donnent à la
le degré d'hydraulicité dont on a besoin (584). Ce mélange,

réduit en pains et soumis à la cuisson, fournit de bons produits.

Le calcaire marneux est un calcaire ordinairement friable, facile à écraser et à réduire en bouillie. Comme il contient toujours une certaine quantité d'argile, quelquefois même assez grande pour produire de la chaux hydraulique ou de la chaux-ciment, on est obligé, pour déterminer la dose d'argile à y ajouter, de le soumettre préalablement à des essais chimiques ou à des essais de cuisson.

On voit que ce procédé exige que la pierre calcaire soit d'abord écrasée. Comme le calcaire marneux et la craie sont seuls susceptibles d'être soumis économiquement à cette opération, en leur absence, on aura recours au second procédé, qui consiste à mélanger une proportion convenable d'argile à de la chaux grasse éteinte et mise à l'état de pâte, et à soumettre ce mélange, réduit préalablement en pains, à une seconde calcination.

D'après M. Vicat, les chaux ordinaires très-grasses peuvent comporter 20 d'argile pour 100 de chaux ; les moyennes en ont assez de 15 à 10, et 6 suffisent pour celles qui ont déjà quelques qualités hydrauliques. Lorsqu'on force la dose jusqu'à 33 ou 40, la chaux que l'on obtient ne fuse point, mais elle se pulvérise facilement et donne, lorsqu'on la détrempe, une pâte qui prend très-promptement corps sous l'eau et qui a toutes les propriétés d'une chaux éminemment hydraulique. Les qualités de l'argile peuvent d'ailleurs influer aussi sur les proportions.

Une fois que les proportions des matières qui doivent entrer dans la chaux sont déterminées, on en opère le mélange au moyen d'un manége semblable à celui que l'on employait pour la fabrication des mortiers dans les grands chantiers de construction, et dont nous allons donner les dimensions principales.

Ce manége porte trois roues de $1^m,80$ de diamètre, analogues à des roues de voitures, et dont la largeur de jante est de $0^m,15$ pour l'une et $0^m,10$ pour chacune des deux autres. Ces roues tournent dans une auge circulaire dont la section transversale est un segment circulaire. La roue de $0^m,15$ de jante suit le milieu de l'auge, et les deux autres suivent des ornières intérieure et extérieure en empiétant de $0^m,02$ à $0^m,03$ sur celle de la première. L'auge, qui a $1^m,15$ de diamètre intérieur, 1 mètre de largeur et $0^m,38$ de profondeur, est dallée en granit ou mieux en plaques de fonte pour avoir moins de joints. Les roues peuvent s'élever ou s'abaisser dans l'auge, à l'aide de deux oreilles traversées par un goujon horizontal et fixées sur les deux faces latérales des essieux. Tout le système tourne autour d'un goujon vertical fixé à la partie supérieure d'un arbre en bois maintenu solidement en terre. Un rabot en fer, qui a la forme de la section transversale de l'auge, détache dans son mouvement la matière qui peut se fixer aux parois de l'auge. Ce rabot est disposé de manière à pouvoir s'élever et

baisser librement, selon que la quantité de matière qui se trouve
ns l'auge est plus ou moins considérable.

Un tel manége est mû par deux chevaux qui suivent un cercle de ,45 de rayon ; mais l'on conçoit que, suivant l'importance de l'exploitation, on peut ne mettre que deux roues au manége, en diminuant la largeur de l'auge en conséquence, et opérer la manœuvre ec un seul cheval. La roue la plus large est montée sur un des as du manége, et les deux autres sur un essieu perpendiculaire ıx bras.

Quand le calcaire est écrasé et réduit en bouillie, ou que la chaux t délayée bien également dans l'auget, on y verse, aussi uniformément que l'on peut, la quantité d'argile convenable, et l'on continue trituration jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus de parcelles d'argile ; ors on ouvre une vanne pratiquée dans la paroi extérieure de uget, et la boue liquide qu'elle contient s'écoule dans une fosse atiquée à proximité, dans un terrain perméable. Quelques tours manége, après l'ouverture de la vanne, suffisent pour que le rabot sse écouler toute la matière par la vanne.

De la première fosse, qui doit avoir de 0m,60 à 0m,80 de profondeur, ı fait couler la matière dans une autre, où on lui laisse acquérir ne consistance qui permette de la mettre en pains, soit à la main, it à l'aide d'un moule. On laisse les pains se dessécher à l'air, à la anière des briques, si ce n'est que leur peu de consistance ne permettant pas de les empiler les uns sur les autres en laissant du jeu itre eux, on est obligé de placer chaque étage de pains sur des ttes reposant sur des entretoises horizontales fixées à des montants ui supportent une toiture.

Les pains une fois desséchés à l'air, on les cuit de la même manière ue la chaux naturelle, si ce n'est qu'étant moins compactes, ils sont lus facilement pénétrés par la chaleur et exigent un feu moins vif.

587. *Cuisson de la chaux*. Elle s'opère dans des fours à feu continu, l'aide de la houille, ou dans des fours à feu discontinu, avec la ouille, de la tourbe ou du bois.

La fig. 19, pl. II, représente la coupe par l'axe d'un four à feu ontinu. Il a la forme d'un tronc de cône renversé, dont le petit diaiètre a au moins 1 mètre, et quelquefois 3m,30, comme à Tournay ; grand diamètre varie de 2 mètres à 6 mètres, et la hauteur, de 3 iètres à 10m,80.

Pour charger ce four, on commence par former dans le bas du onc de cône une voûte en pierre calcaire, laquelle est soutenue par eux barres de fer qui forment une espèce de grille. Sur cette oûte on place une couche de houille, et dans le foyer qui est réservé sous la voûte, on enflamme un feu de bois ; ce feu allume ı première couche de houille, de 0m,05 à 0m,07 d'épaisseur, que l'on

couvre d'une couche de calcaire, de 0m,16 à 0m,22 d'épaisseur, puis d'une même couche de houille et ainsi de suite, jusqu'à la partie supérieure du four; mais en ayant soin de ne placer les nouvelles couches qu'au fur et à mesure que le feu s'élève, comme pour la cuisson des briques à la volée (577).

Quand la pierre du bas est cuite, on la fait couler avec un ringard, et on la retire en réglant la vitesse de l'enlèvement sur le temps reconnu nécessaire pour la calcination de la chaux; ce temps est ordinairement de 24 à 36 heures. On a soin de mettre de nouvelles couches de calcaire et de houille dans le four, à mesure que la masse s'affaisse; le four se vide à peu près par tiers de sa hauteur.

La quantité de houille brûlée varie de 1,50 à 2 ou 2,25 hectolitres par mètre cube de calcaire. Pour que la calcination soit égale et facile, on casse le calcaire en morceaux de 7 à 8 centimètres de côté. Pour la chaux artificielle, les pains peuvent avoir de plus grandes dimensions (586).

La fig. 20, pl. II, représente la coupe verticale par l'axe du four à cuisson continue employé à Tournay. Ce four a 6 mètres de diamètre à la partie supérieure et 3m,30 à la partie inférieure. Le grand diamètre du tronc de cône, à base supérieure arrondie, placé au bas du four pour chasser la chaux cuite vers les huit orifices qui servent à la retirer, a 2m,10. La hauteur totale du four, depuis la base du tronc de cône, est de 10m,80.

Un tel four contient 130 mètres cubes de calcaire, dont les morceaux sont de grosseurs très-variables, il y en a qui pèsent jusqu'à 25 kilog. La chaux reste trois jours dans le four; on brûle de 1,25 à 1,75 hectolitres de charbon de Fresnes, qui est impropre à la fabrication du coke, pour cuire 1 mètre cube de chaux.

On paye 0f,36 au chaufournier pour charger le four, surveiller la cuisson, retirer la chaux du four et la charger en bateau à un relais de distance.

Les voûtes VV' forment un carré régnant tout autour du four. Le massif du four présente, en plan, un carré à l'intérieur des voûtes, c'est-à dire en CD, ainsi qu'à l'extérieur en AB. On pénètre sous les voûtes par 3 ouvertures, dont 2 sont placées sur une même face.

Les tablettes qui forment le sol des orifices par lesquels on retire la chaux font des saillies sous lesquelles on fait avancer les brouettes dans lesquelles on fait tomber directement la chaux; ces brouettes cubent 1 hectolitre.

Si la charge du four ne descend pas partout également, on place des gros blocs de calcaire mélangés de charbon sur la partie qui ne s'affaisse pas; ces blocs, ne se cuisant pas complétement, augmentent la charge dans cette partie, et détachent les morceaux qui se sont accrochés à la paroi. On rend aussi le feu partout uniforme en lais-

le plus grands vides entre les pierres que l'on place dans les
s où il est le moins intense.
chaux cuite dans ces fours se vend de 7 à 9 fr. le mètre cube.
ue l'extraction de la pierre se fasse à la poudre dans des car-
placées au-dessous de la nappe d'eau, ce qui nécessite des
ements à l'aide de machines à vapeur.
pierre referme 10 pour 100 d'argile ; c'est un calcaire fétide de
mation oolitique (562).
fours à cuisson continue exigent que l'on surveille la marche
ı. Si le vent vient frapper dans la direction de l'orifice du four,
t masquer cet orifice par des toiles ou des paillassons, car autre-
le feu deviendrait trop vif, et la chaux se fritterait.
ıs les localités où la houille manque, on cuit la chaux avec du
de la bruyère, de l'ajonc, etc., dans des fours à feu discontinu.
les combustibles à longue flamme, on construit, en briques,
tres matériaux aussi réfractaires que possible, une vaste chambre,
t prismatique, tantôt cylindrique, beaucoup plus haute que large,
une ouverture plus ou moins étroite par le bas ; on la remplit avec
pierre réduite au volume de petits moellons, et de telle sorte
la charge soit supportée par une ou deux petites voûtes con-
tes à sec, avec les matériaux de la fournée les plus convenables
tte construction. L'entrée de ces voûtes correspond à celle de l'ou-
ıre ménagée dans le bas du four ; c'est le foyer où se brûle le com-
ible, dont la flamme, en s'infiltrant par les vides des petites voûtes,
de proche en proche l'incandescence dans toutes les parties du
gement.
temps qu'exige la cuisson varie, selon l'état hygrométrique du
ıire et la qualité du bois, de cent à cent cinquante heures pour un
de 75 à 80 mètres cubes de capacité ; c'est par le tassement de la
ge, arrivée de 1/6 à 1/5 de sa hauteur, que les chaufourniers jugent
ıisson terminée ; chaque mètre cube de chaux exige en moyenne
stères de bois de corde essence de chêne, 22 stères de fagots or-
ires, ou 30 stères de paquets de genêts ou bruyère. Ces chiffres,
comprend, peuvent varier par une foule de circonstances dépen-
de la qualité du bois, et de la grosseur et de la densité de la pierre.
ır obtenir une bonne cuisson, avec le moins de combustible
ible, M. Petot, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a con-
t, à l'arsenal de Brest, le four à deux compartiments représenté
oupe verticale par la fig. 21, p. II (*Annales maritimes*, année 1833).
par une série d'essais que M. Petot est arrivé à cette forme et aux
ensions suivantes, reconnues les plus favorables :

Compartiment inférieur.

Diamètre de la grille	1^m,[illegible]
Hauteur de la grille au-dessus du sol	0,[illegible]
Diamètre inférieur du compartiment	2,[illegible]
AA diamètre maximum	3,[illegible]
Distance de AA à la grille	1,[illegible]
BB sommet de la charge cuite, diamètre	2,[illegible]
Distance de BB à AA	3,[illegible]
Diamètre à la partie supérieure	1,[illegible]
Distance de BB à l'ouverture du foyer supérieur	0,[illegible]
Entrée du foyer, 0^m,40 sur	0,[illegible]
Entrée du cendrier, 0^m,50 sur	0,[illegible]

Compartiment supérieur.

Diamètre inférieur de ce compartiment	2^m,[illegible]
Diamètre maximum CC	2,[illegible]
Distance de CC au seuil de l'ouverture du foyer	1,[illegible]
DD sommet de la charge cuite, diamètre	1,[illegible]
Distance de DD à CC	2,[illegible]
Distance de DD à l'orifice supérieur	0,[illegible]
Diamètre à l'orifice	1,[illegible]
Épaisseur de la maçonnerie en EE	1,[illegible]
Id. *id.* en FF	1,[illegible]
Volume de chaux cuite dans le compartiment supérieur	10^{mc},[illegible]
Id. *id.* inférieur	25^{mc},[illegible]
Largeur des barreaux de grille	0^m,[illegible]
Distance d'axe en axe des barreaux de grille	0,[illegible]

Pour charger le four, on fait au-dessus de chaque foyer, avec des morceaux de calcaire de 0^m,16 à 0^m,20 d'épaisseur, une voûte représentée dans la figure par une ligne pointée. Sur cette voûte entasse le calcaire, de manière que les morceaux diminuent seur, depuis le bas jusqu'en haut, ainsi que du centre au du four ; on prend cette précaution afin de rendre, autant que possible, la cuisson uniforme. Des rondins convenablement placés dans la charge laissent, en se brûlant, des cheminées qui distribuent uniformément la chaleur, en la dirigeant vers les parois ; il faut d'en placer au-dessus de l'opposite de l'entrée du foyer, où le courant d'air qui arrive porte naturellement la flamme.

Le four étant rempli, on ferme avec de la maçonnerie le cendrier supérieur, en y laissant seulement un petit regard l'on ouvre à volonté, pour examiner au besoin les progrès du chauffage à l'entrée du compartiment supérieur.

Les fagots et le bois refendu conviennent pour ce chauffage, parce que leur flamme longue monte à travers la charge, et que peu de brasier, il y a moins de chance que la partie inférieure calcaire dépasse le point convenable de cuisson. On est quelq

›bligé, au commencement du chauffage, d'allumer quelques dans le foyer supérieur pour faciliter le tirage.

ju'à ce que toute la masse soit échauffée, l'eau qui se dégage nt la combustion, ainsi que le carbone entraîné, se déposent s pierres froides, qui deviennent noires; vers cette époque du 'age, il arrive, si le feu est trop ardent, que les pierres éclatent ›ruit ; quand on entend ces explosions, il convient de ralentir jusqu'à ce que les pierres aient perdu leur eau de carrière.

que charge se compose de quatre fagots de 1 mètre de longueur ant chacun de 7k,50 à 10 kilog. ; on réduit quelquefois ce re à trois et d'autres fois on le porte à cinq. On dispose les autour de la grille, en en laissant un dans l'entrée du foyer, mière que, brûlant par l'extrémité, il fournisse la flamme à la antérieure du four, et qu'il brûle les filets d'air qui pénètrent contour de la porte et le guichet de 0m,08 à 0m,10 de côté, placé le milieu de la maçonnerie de cette porte. Ce guichet sert à voir i se passe dans le foyer ; on le ferme à l'aide d'un tampon en à brique. Chaque chargement s'effectue quand il n'y a plus lu brasier sur la grille, et que le courant de flamme amaigri iet de voir les pierres de la voûte; si l'on attendait trop, l'air l, dont l'arrivée est constante, refroidirait les pierres.

1 bout des dix premières heures de feu, la dépense en combus- reste à peu près constante.

ABLEAU indiquant la marche de la cuisson; il est analogue à celui donné pour la brique (577).

Nombre de fagots brûlés dans le															
	compartiment inférieur pendant le												compartim. supér. pendant le		
	1er quart	2e quart	3e quart	4e quart	5e quart	6e quart	7e quart	8e quart	9e quart	10e quart	11e quart	12e quart	1er quart	2e quart	3e quart
	5	35	38	49	43	42	40	41	38	42	39	38	19	35	28
	15	33	40	50	40	40	40	43	40	44	40	38	24	32	33
	19	36	37	48	40	38	40	41	43	39	42	24	28	36	36
	25	34	39	50	45	42	40	39	44	42	40	»	31	33	34
	28	37	48	40	44	40	42	40	39	43	41	»	33	29	34
	31	35	51	41	44	40	40	42	40	41	44	»	34	31	»
•	123	210	253	278	253	242	242	246	241	248	246	100	166	196	165

Pendant soixante-huit heures et demie de feu dans le comparti-

ment inférieur, on a brûlé 2682 fagots, et pendant dix-sept heures de feu dans le compartiment supérieur, on en a brûlé 527; ce qui fait un total de 3209 fagots pour quatre-vingt-cinq heures et demie de feu. Chaque fagot pesant 9k,25, on a donc brûlé 29683 kilog. de bois pour 37 mètres cubes de chaux; ce qui fait 802 kilog. par mètre cube.

Comme les pierres du bas sont cuites avant celles du haut, pour éviter leur surcalcinacion, après vingt ou vingt-quatre heures de feu, on met dans la cuvette K, placée en avant du foyer, de l'eau que l'on élève jusqu'au niveau du cendrier. La vapeur produite par la chaleur que rayonne le foyer, non-seulement empêche la surcalcination, mais aussi facilite le dégagement de l'acide carbonique que peuvent encore contenir quelques morceaux. On ramène dans la cuvette, à l'aide d'un rabot, toute la cendre qui s'entasse dans le cendrier, au-dessus du niveau de l'eau. On maintient le niveau de l'eau constant dans la cuvette, à l'aide d'un réservoir extérieur. La quantité d'eau évaporée pendant la calcination s'élève à 3 mètres cubes environ, déduction faite des pertes par infiltration à travers la maçonnerie.

La vapeur d'eau joue un rôle tel dans la décomposition du carbonate, que si, après avoir desséché complétement un morceau de carbonate, on le soumet à la cuisson, sa décomposition est impossible, au lieu que si l'on fait arriver dessus de la vapeur d'eau, le dégagement de l'acide carbonique a lieu immédiatement.

La cuisson de la chaux est opérée quand le tassement de la masse est de 0m,50 environ, ou mieux, quand on peut enfoncer dans cette masse une barre de fer avec autant de facilité que dans un tas de chaux. Ces essais se font par l'ouverture placée sous le foyer supérieur; pendant qu'ils durent, on tient hermétiquement fermés le foyer et le cendrier inférieurs, sans quoi, l'air chaud et la flamme sortant par l'ouverture, il serait impossible d'en approcher. Une fois la cuisson terminée dans le compartiment inférieur, on commence le feu dans le foyer supérieur. Ce foyer est sans grille, on place les fagots debout sur la chaux du compartiment inférieur. Pendant toute la durée du feu dans le foyer supérieur, on ne laisse qu'une ouverture de 0m,10 au cendrier inférieur, et le cendrier supérieur se tient fermé. Quand la cuisson est également opérée dans ce compartiment, ce qui se vérifie plus facilement que pour le compartiment inférieur, mais par des moyens semblables, on arrête le feu, on ferme hermétiquement tous les orifices, et douze heures après on commence à défourner.

Indices d'une bonne cuisson. La chaux vive, de quelque nature qu'elle soit, pour être cuite au degré convenable, doit fuser promptement et complétement dans l'eau. Si elle est trop calcinée, elle reste

uefois un jour ou deux dans l'eau sans avoir subi une extinc-
:omplète. Pour être de bonne qualité, les chaux ne doivent
nir aucune matière étrangère, ni aucun biscuit ou durillon de
ue nature que ce soit.

bonnes chaux hydrauliques bien cuites se reconnaissent faci-
ıt à leur légèreté, à leur consistance crayeuse, et à l'efferves-
qu'elles font avec l'eau, lorsqu'elles n'ont pas encore été
ées. Quand, au contraire, elles sont lourdes, compactes, vitri-
.égèrement sur les arêtes des morceaux, et longtemps inactives
l'immersion, c'est que le terme de la bonne cuisson a été dé-
. Si elles fusent superficiellement, en laissant un noyau, c'est
a cuisson est incomplète.

pierres à chaux perdent dans leur calcination parfaite environ
le leur poids primitif, par l'effet de l'évaporation de toute l'eau
l'acide carbonique qu'elles contiennent. La diminution est
s grande en volume qu'en poids; quoique très-variable selon les
ses espèces de pierres, on l'évalue assez généralement à 0,1 ou
du volume primitif.

}. *Provenances des chaux.* Presque tous les départements de la
:e fournissent des chaux grasses et des chaux hydrauliques.
›lus réputées parmi ces dernières sont celles du Theil (Ardèche),
ontélimart (Drôme), de Doué (Maine-et-Loire), de Paviers (Indre-
›ire), de la Hève, de Saint-Quentin, de Sassenage (Isère), d'An-
ıé (Basses-Pyrénées), de Castelnaudary (Aude), d'Echoisy (Cha-
), des Morins (Gironde), de la Mancelière (Eure-et-Loire), de
efort (Var), de Tournay, de Senonches, etc.

; *chaux que l'on emploie à Paris et dans ses environs* proviennent
ıampigny, Sèvres, Meudon, Marly, Essonnes, Melun, Senlis et
›ouillet; ces deux dernières sont très-estimées. Autour de Paris
:te aussi des fabriques considérables de chaux, dans lesquelles
it des chaux hydrauliques naturelles et artificielles; les pro-
de celles de la Gare, de Vaugirard, des Moulineaux et des buttes
mont ne laissent rien à désirer, quand ils ont été préparés avec
ıins convenables.

}. *Conservation de la chaux.* Pour conserver à la chaux la qua-
ju'elle possède à sa sortie du four, ce qui est d'une grande
rtance, il faut avoir soin, soit à la fabrique, soit sur le chan-
de la mettre à l'abri sous des hangars, ou mieux, dans des
:s ou tonneaux hermétiquement fermés; avec cette dernière
ıution, on peut conserver la chaux au moins une année, sans
le ait perdu sensiblement de ses qualités.

ır conserver parfaitement la chaux hydraulique, dit M. Vicat,
t commencer par étendre sur le sol d'un hangar, ce sol étant
tenu à l'abri de l'humidité, une couche de chaux de $0^m,15$ à $0^m,20$

d'épaisseur, réduite en poudre par immersion; ensuite sur cette couche on empile la chaux vive, en la serrant avec une [illegible] bois, pour diminuer les vides autant que possible. On termine le monceau par des talus assez doux, qu'on recouvre d'un dernier lit de chaux prise au moment où elle vient de subir l'immersion : celle-ci, en tombant en poussière, se loge dans les intervalles de la chaux vive en pierre, et l'enveloppe assez bien pour la défendre du contact de l'air et de toute humidité. Une expérience faite sur un tas de 60 mètres cubes de chaux vive a justifié de l'efficacité de ce procédé; la chaux retirée du tas s'échauffait et fusait encore très-bien après cinq mois d'un hiver constamment pluvieux.

890. *Extinction de la chaux.* On distingue cinq manières de l'opérer; nous allons les passer en revue (602).

1° ***Extinction par fusion ou extinction ordinaire.*** Elle consiste à placer la chaux dans un bassin avec la quantité d'eau convenable, et à l'agiter pour réduire le tout en [illegible]. Il faut avoir soin, pour les chaux grasses, de verser en une seule fois toute l'eau nécessaire, afin de n'être pas obligé d'en ajouter pendant l'effervescence. Dans le cas de nécessité d'une nouvelle quantité d'eau, il faut attendre le refroidissement pour l'ajouter. La méthode qui consiste à noyer la chaux d'une grande quantité d'eau et à la faire couler dans un bassin perméable doit être proscrite.

Ce procédé ne peut être usité pour la chaux hydraulique, elle fuse trop [illegible]; on l'emploie généralement pour la chaux grasse, parce qu'elle foisonne plus que par les autres procédés; mais il convient, pour qu'elle donne une bonne maçonnerie, d'y mélanger un peu de pouzzolane.

Sur les grands chantiers, les bassins se font en maçonnerie; dans les autres cas, on les fait en plats-bords maintenus par des chevillettes en fer ou par des piquets en bois, en ayant soin de les garnir de glaise ou de plâtre pour empêcher l'eau d'en sortir.

Lorsque la chaux doit être conservée après son extinction, il faut la recouvrir d'une couche de sable que l'on humecte de temps en temps.

Extinction par fusion appropriée à la chaux hydraulique, d'après M. Vicat. La chaux hydraulique, prise vive et en pierre, se jette à la pelle dans un bassin imperméable, et on l'étend par couches d'égale épaisseur (de 20 à 25 centimètres); on y ajoute l'eau au fur et à mesure, et de telle manière qu'elle puisse circuler et pénétrer avec facilité dans les vides que les fragments de chaux vive laissent entre eux. L'effervescence ne tarde pas à se manifester. On continue à jeter alternativement de la chaux et de l'eau. Il faut bien se garder de brasser la matière et de la réduire en laitance, selon la mauvaise habitude de quelques maçons; seulement, quand par hasard quelques parties [illegible] fusent à sec, on y dirige l'eau par des rigoles que l'on trace légèrement [illegible] avec une pelle, et de temps en temps on enfonce un bâton pointu dans les endroits où l'on soupçonne que l'eau a pu manquer. Si le bâton en sort enduit d'une chaux [illegible], l'extinction est bonne; s'il s'en élève au contraire une fumée farineuse, c'est que la chaux fuse à sec; on élargit alors le trou, on en fait d'autres à côté, et l'on y [illegible] l'eau.

On ne doit ainsi éteindre que la quantité de chaux hydraulique dont on a besoin pour la consommation d'une journée. Deux bassins séparés, ou deux capacités dans le même bassin sont indispensables. On remplit l'un quand l'autre est près d'être vide. C'est ordinairement sur la fin du jour que l'extinction a lieu; par ce moyen, la chaux a [illegible] quatre heures pour travailler, et les morceaux paresseux se divisent tous.

La chaux ainsi éteinte est déjà très-ferme le lendemain; il faut la piocher ou du moins la couper avec une pelle tranchante pour l'extraire. Il semble qu'on est [illegible]

sse plus être ramenée à l'état de pâte sans une addition d'eau, mais c'est une

u lieu d'être prise vive, la chaux hydraulique a déjà subi l'immersion, les bas- viennent inutiles; la réduction en pâte se fait au fur et à mesure de la consom- ; on règle la dose d'eau de manière à atteindre à peu près le même degré de ance que par l'autre procédé.

Extinction sèche par immersion ou aspersion. Cette méthode consiste à plonger, d'un panier, la chaux dans l'eau pendant quelques secondes, et à l'en retirer ment avant tout commencement de fusion pâteuse; elle siffle, éclate avec bruit, des vapeurs brûlantes et tombe en poussière. On arrive au même résultat par persion d'eau, faite au moyen d'un arrosoir, sur la chaux vive étalée sur une aire couche de $0^m,10$ à $0^m,15$ d'épaisseur. Dans l'un et l'autre cas, il est bon d'en- immédiatement la chaux pour concentrer la chaleur dégagée; par là, on facilite accélère la réduction en poudre. Ainsi réduite, la chaux ne s'échauffe plus avec elle en retient de 18 à 20 pour 100 si elle est grasse, et de 20 à 30 si elle est hy- que.

mode d'extinction s'emploie chaque jour de plus en plus, et il est appliqué sur oup de grands ateliers. La forme pulvérulente qui en résulte permet de transpor- chaux au loin, en l'expédiant dans des sacs ou dans des barils; elle peut même ser les mers. Dans les fabriques bien organisées, on a soin de bluter la chaux après duction en poudre, afin d'en séparer les parties solides provenant d'un défaut de n ou de la composition hétérogène de certains noyaux dont les masses calcaires ouvent pénétrées.

Extinction par aspersion. Elle consiste à placer la chaux vive dans un bassin cir- e que l'on forme avec du sable, à jeter dessus une quantité d'eau suffisante pour uire en pâte, à la couvrir immédiatement avec le sable, et à ne l'agiter et faire le ier que quand la fusion est complète. Pour la chaux grasse, il se produit un déga- nt de chaleur qui facilite l'extinction, laquelle est complète au bout de deux ou heures. Ce procédé est beaucoup employé par les paveurs et par les maçons de nce; mais, pour la chaux hydraulique, on lui donne rarement la préférence sur le d'extinction par fusion.

Extinction spontanée. Elle se fait en soumettant la chaux vive à l'action lente et nue de l'atmosphère, dont elle absorbe l'humidité en se transformant en hydrate aux (583). Cet hydrate contient 0,22 de son poids d'eau, et en y ajoutant une cer- quantité d'eau, on obtient une pâte propre à fabriquer du mortier. Ce mode est ent employé pour les chaux hydrauliques, lesquelles perdent de leurs qualités à ; mais il convient pour les chaux grasses, dont l'exposition à l'air transforme quel- particules en carbonate de chaux, ce qui facilite le durcissement. On doit prendre s les précautions possibles pour préserver les chaux du contact de l'air et de l'hu- té, lorsqu'elles ont été éteintes par ce procédé.

emarque. Suivant M. Vicat, l'extinction sèche par immersion ou ersion (2°) doit être préférée pour les chaux grasses, vu qu'il en ulte une augmentation de près des deux tiers pour la force des tiers; mais la valeur de ces derniers augmente en raison de la s grande quantité de chaux vive qui y est introduite, quoique sous égal volume de pâte. Les chaux hydrauliques gagnent, au con- re, à être éteintes par le procédé ordinaire à grande eau; il en ulte pour l'accroissement de cohésion des mortiers une différence appréciable dans le cas d'exposition à l'air, mais très-sensible et 1/5 pour le cas d'immersion constante.

91 *Foisonnement de la chaux.* Le foisonnement, c'est-à-dire

l'augmentation de volume de la chaux à l'extinction, varie par chaque nature de chaux et suivant le mode d'extinction. Une expérience directe donne, du reste, facilement le foisonnement d'une chaux que l'on veut employer.

En général, 100 kilogrammes de chaux grasse très-pure et très-vive donnent 0^{mc},24 de pâte; mais quand la cuisson date de plusieurs jours et que la chaux n'est pas très-pure, ce chiffre descend à 0^{m},18. Entre ces limites se trouvent toutes les variations de foisonnement de ces espèces de chaux.

Les chaux communes très-grasses, éteintes en bouillie épaisse par fusion, donnent en volume jusqu'à 2 et quelquefois plus pour 1; il en est qui ne donnent que 1,30 et même 1,20 : ce sont principalement les chaux maigres et communes (583).

Le foisonnement des chaux hydrauliques présente aussi de grandes variations; mais leur densité et leur composition sont trop variables pour permettre d'assigner entre des limites aussi voisines que celles de 0^{mc},24 et 0^{mc},18 fournies par 100 kilogrammes de chaux grasse, le rapport entre leur poids et leur volume après l'extinction ordinaire.

Le tableau suivant donne les résultats qu'ont fournis différentes chaux hydrauliques, par mètre cube de chaux vive mesurée à pied-d'œuvre.

DÉSIGNATION DE LA CHAUX.	MODE d'extinction.	VOLUME après la fusion.
		m.cub.
Chaux hydraulique de Bourgogne.	Fusion.	1.55 de pâte.
Id. *id.*	Immersion.	1.85 de poudre.
Chaux hyd. naturelle des buttes Chaumont. . . .	Fusion.	1.50 de pâte.
Id. *id.*	Immersion.	1.78 de poudre.
Chaux hydraulique artificielle *id.*	Fusion.	1.59 de pâte.
Id. *id.* *id.*	Immersion.	1.75 de poudre.
Chaux hydraulique d'Issy.	Fusion.	1.62 de pâte.
Chaux hydraulique naturelle des Moulineaux. .	*id.*	1.47 *id.*
Chaux moyennement hydraulique de la Hève. .	*id.*	1.75 *id.*
Id. *id.* *id.*	Immersion.	2.00 de poudre.
Chaux du Theil.	*id.*	1.24 *id.*

Pour la chaux éteinte en poudre, il s'opère une contraction par le gâchage, qui peut varier de 0^{mc},62 à 0^{mc},80 de pâte pour 1 mètre cube de poudre.

592. *Moyen de reconnaître le degré d'hydraulicité des chaux naturelles ou artificielles.* Il consiste à mettre la chaux à essayer dans un verre, immédiatement après son extinction, en la recouvrant d'une quantité d'eau égale au tiers de la profondeur du verre. Si elle est de bonne qualité, elle doit avoir fait prise, au plus tard, huit ou dix

›rès son immersion, de manière à supporter, sans dépression, uille à tricot d'un peu peu plus d'un millimètre de diamètre, arrément à son extrémité et chargée à l'autre d'un culot de du poids de 0,3 de kilogramme. Les chaux hydrauliques es au tableau du numéro précédent ont toutes satisfait à cette ›n, après des durées d'immersion de sept à quatorze jours.
ıbleau suivant, que nous extrayons des *Recherches sur les chimiques de la destruction des composés hydrauliques par ; mer*, de M. Vicat, donne les indices d'hydraulicité et la com- ı chimique de plusieurs chaux employées pour les grands ; publics.

ATION DES CHAUX.	Chaux.	Magnésie.	Silice.	Alumine.	Peroxyde de fer.	Principes inertes.	Indices d'hydraulicité.	Quotité silice p. 1 d'alumine.
ıaux naturelles.								
du Theil, 1er choix. .	68.941	0.612	26.069	4.378	traces.	»	0.45	5.25
du Theil, 2e qualité. .	77.760	0.541	20.573	1.126	traces.	»	0.28	12.34
de Sassenage (Isère) .	71.989	0.507	23.609	3.893	traces.	»	0.39	5.36
de Paviers (Indre-et-Loire).	70.850	0.476	18.261	4.997	traces.	0.476	0.33	3.34
de Doné (Maine-et-Loire).	75.394	0.502	11.174	3.828	2 134	5.649	0.20	2.58
le Blancafort (Cher).	66.410	0.31	23.84	9.44	traces.	»	0.50	2.44
l'Emondeville (Manche).	78.400	3.93	11.00	3.67	3.00	»	0.24	1.45
le Grenoble (Isère). .	84.220	»	7.23	4.56	0.95	3.04.	0.14	1.58
artificielles à argiles ordinaires.								
le cuisson.	71.840	»	19.21	8 95	traces.	»	0.39	2.14
ld.	69.130	»	20.85	10.02	traces.	»	0.44	2.08
minemment siliceuses.								
ple cuisson.	69 440	»	30.56	»	traces.	»	0.44	»
ble cuisson.	69 440	»	30.56	»	traces.	»	0.44	»
Id.	69.920	»	25.06	5.00	traces.	»	0.43	5.01
le cuisson.	69.920	»	25.06	5.00	traces.	»	0.43	5.01
grasse rendue hy- lique par adjonction ment.	69.500	»	16.65	6.90	3.31	3.64	0.34	3.40

Pouzzolanes. On désigne sous le nom de pouzzolanes des its naturels ou artificiels qui peuvent se combiner immédia- t avec la chaux, et donner à cette dernière les qualités hydrau- par le fait d'un mélange établi dans certaines proportions. pouzzolanes doivent leur nom aux produits volcaniques ex- par les colonies grecques, et plus tard par les Romains, aux

environs de Pouzzoles, petite ville du royaume de Naples. Ce sont des laves ou déjections volcaniques plus ou moins anciennes, ...fiées par l'action du temps, et composées essentiellement de silice, d'alumine et de peroxyde de fer, auxquels s'unissent accidentellement la magnésie, la chaux, la potasse, la soude, et probablement d'autres principes, en quantités à peine pondérables. Les pouzzolanes se trouvent toujours sur les flancs ou dans les volcans allumés ou éteints. Les catacombes de Rome sont creusées dans du ... de pouzzolane; les anciens volcans de l'Auvergne, du Vivarais et de l'Hérault en fournissent diverses qualités.

La composition des pouzzolanes, quant à la quantité d'argile qu'elle renferme, est encore en dehors de celle de la chaux-ci... -mite (564); elle est ordinairement de 61 à 90 d'argile pour ... chaux. A l'état naturel, ou après une calcination préalable, les pouzzolanes renferment du silicate de chaux, sans qu'il y ait assez de chaux libre pour que, réduit en poudre, il fasse pâte lorsqu'on le jette dans l'eau : cette poudre est tellement maigre, que sa ... dans l'eau s'opère difficilement.

On emploie quelquefois des pouzzolanes qui ont la propriété de prendre consistance sous l'eau en vingt-quatre heures, sans être mélangées à aucune autre matière; mais ordinairement on n'en fait usage que mélangées aux chaux grasses, dans des proportions qui communiquent à celles-ci un degré d'hydraulicité qui leur permet de ... promptement. Le silicate étant mis ainsi, par rapport à la chaux, dans les mêmes conditions que dans les chaux plus ou moins hydrauliques, ou que dans les chaux-ciments, le mélange possède les propriétés de ces produits.

La pouzzolane varie de couleur : elle peut être blanche, ... jaune, grise, brune ou violette; celle de Rome est d'un rouge ... mêlé de particules d'un brillant métallique. Les meilleures pouzzolanes nous viennent d'Italie, et nous sont expédiées de Civita-Vecchia. On a aussi employé, sur les bords du littoral de la Méditerranée, les pouzzolanes de Livourne et celles de Rachegoun (Algérie). On trouve également des pouzzolanes naturelles susceptibles d'un ... emploi dans le revers sud des montagnes de l'Auvergne, ... Chaudes-Aigues et la Guiolle, dans le Vivarais et à Bessan ...

On trouve aussi dans plusieurs localités des sables jouissant de quelques propriétés pouzzolaniques, lorsqu'ils ont été soumis à une légère torréfaction. Ces sables sont abondants aux environs de ... et en plusieurs points de la basse Bretagne. Dans les environs de Saint-Astier, entre Périgueux et Mucidan (Dordogne), on trouve un sable quartzeux, à grains inégaux entremêlés d'argile brun... jaune, en proportion variable d'un quart aux trois quarts du volume total, dont les qualités pouzzolaniques sont très-prono...

ndamment de toute cuisson. Ces espèces de sables se désignent
nom d'*arènes* (598).

vril, inspecteur général des ponts et chaussées, a fait con-
en 1854, des roches amphiboliques ou diorites décomposées,
nt naturellement de certaines propriétés pouzzolaniques ; on
uve en abondance aux environs de Châteaulin et de Saint-
, et en d'autres points de la basse Bretagne : une cuisson mo-
augmente leur énergie. Ces matières ont été employées avec
aux travaux d'art du canal de Nantes à Brest.

EAU de la composition chimique de quelques pouzzolanes, d'après M. Vicat.

POUZZOLANES.	PRINCIPES ACTIFS. Chaux.	Magnésie.	Silice.	Alumine.	Total.	CARBONATE de chaux.	de magnésie.	Péroxyde de fer.	Matières inertes.	Principes solubles et volatiles.
1° *Volcaniques :*										
uilles de Saint-Paul à ne.	8.80	4.70	45 00	14.80	73.30	»	»	12.00	»	14.70
aples, brune	8.96	»	24.50	15.75	49 21	»	»	16.30	20.00	7.63
Id. grise.	9.47	4.40	42 00	15.50	71.37	»	»	12.50	2.50	13.04
Id. dite de feu. . . .	»	»	33.67	14.73	48.40	19.67	6.83	9.47	7.30	8.92
s du Rhin.	2.33	1.00	46.25	20.71	70.29	»	»	5.59	8.57	15.35
e, *de* Bessan (Hérault).	8.70	»	38.50	18.35	65.55	»	»	14.90	4.50	15.05
2° *Artificielles :*										
ne rouge sableuse d'Al-	»	2.65	45.50	19.33	67.48	»	»	8.92	21.00	1.75
ile fine ocreuse.	»	»	65.50	22.35	87.85	»	»	10.40	»	1.75
réfractaire de Paviers.	»	2.30	49.04	32.56	83.90	»	»	»	14.10	»
blanche	1.00	»	66.50	32.50	100.00	»	»	»	»	»
de Saint-Malo.	13.00	»	30.50	13.50	57.00	8.07	»	4.00	30.00	0.93

1. *Fabrication de la pouzzolane artificielle.* Un composé de 1 à 3
s de chaux pour 9 à 7 d'argile, soumis à une chaleur nécessaire
remier degré de cuisson de la brique, un peu supérieure au
sombre, donne la pouzzolane (583).

mme pour la chaux hydraulique (586), quand on n'a pas de ma-
s qui referment naturellement ces proportions, on peut préparer
uzzolane de toutes pièces ; c'est ce que l'on a fait au pont-aqueduc
uétin, sur l'Allier, et à celui de Digoin, sur la Loire, où les ma-
s employées étaient composées d'une partie en volume de chaux
e cuite et éteinte à l'état de pâte molle, et de quatre parties
ile, ou plutôt d'une terre argileuse trouvée sur les lieux et
ée par une addition d'eau à la même consistance que la chaux.
pérait ensuite le mélange de ces matières, en les maintenant à

la consistance de pâte à brique ordinaire, à l'aide d'un manège à deux roues, semblable à celui employé sur les grands ateliers à la fabrication du mortier, et dont il a été question pour opérer le mélange des matières employées à la fabrication de la chaux hydraulique artificielle (586).

Le fond de l'auge du manège avait 0m,30 de largeur, et son rayon moyen 1m,50; les roues avaient 0m,10 de largeur de jante, et leurs ornières empiétaient de 0m,02 à 0m,03 l'une sur l'autre. Deux hommes rejetaient dans l'intérieur de l'auge les matières qui s'attachaient aux parois et aux roues; une charrue est peu avantageuse, à cause de la facilité avec laquelle les matières s'y fixent.

La charge de l'auge était de 0mc,60, et son mélange durait une heure. Un cheval décrivant un cercle de 5 mètres de rayon suffisait pour conduire le manège en travaillant de huit à dix heures par jour.

Une fois les matière mélangées, on les mettait en pains de la forme d'un prisme triangulaire, au moyen d'un moule imaginé par M. Saint-Léger. Deux hommes fabriquaient en une journée de douze heures de travail 3000 à 3500 pains, dont 650 formaient le mètre cube.

Les pains une fois moulés, on les desséchait en les exposant au soleil; par un beau temps d'été, la dessiccation durait de six à dix jours, après lesquels on emmagasinait les pains sous un hangar couvert, pour les mettre à l'abri de la pluie, jusqu'au moment de la cuisson.

On cuisait avec de la houille, mais on peut employer le bois. On avait soin de ménager le feu, surtout au commencement de l'opération et jusqu'à la parfaite dessiccation des pains. Avec un petit feu bien conduit, la cuisson d'une fournée peut durer de 30 à 40 heures. Les fours sont semblables à ceux qui servent à cuire la chaux au moyen du bois (587).

Au pont-aqueduc de Guetin, on a fait usage d'un double four représenté en coupes verticale et horizontale par les fig. 22 et 23, planche ... Sur les faces inclinées du massif qui sépare les deux foyers, on a fait des cannelures avec des briques de champ; ces cannelures, faisant office de cheminées, font que la flamme arrive aussi facilement dans le milieu du four que dans les parties qui se trouvent au-dessus des foyers.

On supporte la charge, au-dessus des foyers, à l'aide de voûtes à claire-voie en briques réfractaires.

Un tel four peut contenir 7000 pains, qui fournissent de quoi faire environ 10 mètres cubes de pouzzolane. Il faut un jour pour charger, un jour et demi pour la cuisson, et deux jours et demi pour le refroidissement du four et le déchargement, ce qui fait cinq jours par fournée.

M. Saint-Léger a encore établi des fours plus petits que le pré-

portent des séchoirs où l'on opère la dessiccation des pains
a cuisson; mais ils sont moins avantageux que le précédent.
lc, en prenant un peu l'avance pour le mélange des matières
essiccation naturelle des pains, on peut, en général, dans la
des travaux, se passer de ces séchoirs.
goin, pour pulvériser la pouzzolane, M. Saint-Léger a fait
l'un manége garni d'une meule en pierre du poids de 650 à
og. La meule se mouvait sur une plate-forme entourée d'une
ontre la paroi intérieure de laquelle se trouvait un tamis in-
Un soc de charrue agitait la matière derrière la meule, et une
e convenablement disposée la faisait tomber de temps en temps
tamis destiné à séparer les parties encore trop grosses de la
e convenablement broyée; les parties rejetées par le tamis
replacées sous la meule.
areil manége peut, en douze heures de travail, pulvériser de
cubes à 2^{mc},50 de pouzzolane. M. Mary pense que l'on obtien-
e meilleurs résultats de pulvérisation au moyen de cylindres
ues en fonte isolés tant pleins que vides, que l'on ferait rouler
ie plate-forme où l'on aurait répandu la matière; ces disques
raient la matière, au lieu d'en faire une masse compacte comme
ule. Ces cylindres sont employés par M. Payen, à Grenelle, pour
riser de la matière désinfectante; les disques ont 0^{m},02 d'épais-
t ils sont écartés d'autant; leur diamètre est de 0^{m},40 environ.
nétin, le prix d'un mètre cube de pouzzolane, non compris les
'établissement faits par l'administration, s'est élevé à 28 fr., et
nt de Digoin, à 26 fr. Ces prix comprennent les achats de
et de chaux, leur transport, leur mélange, la fabrication des
; la cuisson, qui exige environ trois hectolitres de houille,
s seulement à 3 fr. 50 pour Digoin, par mètre cube de pouz-
; la pulvérisation, la livraison à la régie dans des caisses
iensions déterminées, le transport de la matière dans les dif-
s points de l'atelier; l'entretien des fours, manéges et hangars;
les frais d'outils et les bénéfices, qu'à Digoin on a cotés en-
e à 3 fr. 40 par mètre cube de pouzzolane.

' d'établissement d'un matériel destiné à fournir de 2 à 2,50 mètres cubes de pouzzolane par jour.

ınége à mélanger l'argile et la chaux.	300 fr.
ı four avec ses abords	600
ı hangar pour abriter les pains avant leur cuisson	300
ı manége à pulvériser, avec un hangar assez étendu pour recevoir d'un côté la pierre à pulvériser, et de l'autre l'approvisionnement de pouzzolane pulvérisée.	2 600
Total.	4 000 fr.

Pour des travaux de peu d'importance, on ne peut faire des frais aussi considérables; on se contente de cuire la pouzzolane dans un four ordinaire à chaux ou à briques, sauf à avoir quelques briques vitrifiées par l'effet des cendres de charbon qui aident à la fusion de la silice.

La pouzzolane se conserve plus facilement avant d'être employée que la chaux hydraulique, et, de plus, elle permet de donner au mortier le degré d'énergie dont on a besoin, ce qui est impossible avec la chaux hydraulique.

Les fabriques de pouzzolane sont très-nombreuses; celles de Paviers (Indre-et-Loire), des Fagnières (Marne), de Chartres ont été exploitées avec avantage pour les grandes travaux publics. Les fabriques de chaux des environs de Paris fournissent des pouzzolanes que l'on emploie avec assez de succès pour activer la prise des mortiers; elles ont la couleur des briques ou tuileaux concassés.

598. *Fabrication de pouzzolanes artificielles avec diverses matières.* M. Vicat rapporte que l'on a fabriqué de la pouzzolane avec une terre dolomitique. Cette terre, exploitée par entailles et coins de bois, se subdivisait en petites mottes que l'on séchait au soleil ou sous des hangars pour les cuire ensuite dans un four à chaux ordinaire. La cuisson exigeait un hectolitre de charbon pour seize à dix-huit hectolitres de terre.

Détail des dépenses pour la campagne entière.

Construction du four		110 fr. 0[illegible]
Id. du hangar		167 [illegible]
Exploitation	582 jours 1/2	707 [illegible]
Cuisson	202 *id*	309 [illegible]
Pilonage par des femmes	281 *id.*	201 [illegible]
Surveillance		200 [illegible]
Houille, 130 quintaux métriques		174 [illegible]
Outils		86 [illegible]
Dépenses diverses		7 [illegible]
Dépense totale pour 211^{mc},75 de pouzzolane		1 966 fr. [illegible]
Ce qui fait par mètre cube		9 fr. [illegible] c.

A Calais, on fabrique de l'excellente pouzzolane en cuisant une terre argilo-calcaire provenant des plages de la mer. Cette terre est produite par les vases calcaires qui résultent de la destruction des falaises de la côte de Normandie et du limon argileux provenant soit des alluvions des cours d'eau, soit des couches d'argile qui couronnent le sommet des falaises. Cet terre s'extrait dans la plage, se sèche et se cuit comme la pâte de pouzzolane artificielle (594).

A Brest, où il existe des masses considérables de sables de [illegible] granitiques, on a soumis ce sable à une légère torréfaction dans [illegible]

à réverbère, et l'on a obtenu une pouzzolane, non très-éner-, mais cependant assez pour que, mélangée à la chaux, le er durcisse en sept jours.

sables torréfiés se composent de :

Silice	60,33
Alumine.	21,43
Peroxyde de fer	8,57
Chaux et magnésie.	6,69
Principes solubles.	2,75 .

;. *Ciment romain.* Depuis plusieurs années on emploie avec de savantages, dans les constructions hydrauliques, une substance nee vulgairement sous le nom de *ciment romain* (583), qui pos- à un degré supérieur toutes les propriétés des chaux hydrau- s: ainsi le mortier fait avec cette matière acquiert presque itanément, à l'air et dans l'eau, une plus grande dureté et imper- ilité, et il adhère encore mieux aux matériaux de construction. obtient par la cuisson complète de calcaires marneux et argi- renfermant naturellement, et en proportions convenables, tous rincipes qui les rendent susceptibles d'un durcissement très- ue dans l'air et dans l'eau, sans addition d'aucun autre corps. calcaires renferment généralement plus de 23 parties d'argile 100; cette quantité peut aller jusqu'à 40; mais quand elle sse 30 pour 100, les ciments obtenus sont généralement mé- es.

calcaires à ciment se cuisent comme les pierres à chaux, si ce qu'étant plus sujets à se fritter, ils exigent plus de modération le feu et conséquemment moins de combustible. Les ciments teignent et ne font pas effervescence avec l'eau ; il faut les r comme le plâtre pour les employer. Leur couleur est très- ble : brun foncé, brun clair, gris, nankin, jaune badigeon, etc., les nuances qui se recontrent. Leur énergie, tant sous le rap- le la rapidité de la prise que sous celui de la dureté finale, est très-variable et dépend d'une foule de circonstances. Il y a même alcaires contenant de la silice gélatineuse dans les proportions emblent convenir aux ciments, auxquels aucun degré de cuis- ne peut communiquer la propriété d'une prise prompte et ique.

rencontre quelquefois des calcaires dont l'argile contient, outre ce et l'alumine, 6 à 12 pour 100 de magnésie, dont la pré- paraît exalter la qualité du ciment pour les travaux à la mer. nme pour les chaux hydrauliques (586), on est parvenu à juer des ciments artificiels en soumettant à un degré de cuisson nable des mélanges de craie et d'argile ou de marnes plus ou

moins chargées en argile ou en carbonate de chaux. Comme pour les ciments naturels, on peut obtenir ainsi, par un excès de chaux indiqué par l'expérience, des produits à prise très-lente, mais qui acquièrent assez rapidement une dureté supérieure à celle des ciments correspondants à prise rapide. Si la chaux et l'argile que l'on emploie ne contiennent pas d'oxyde de fer, le ciment obtenu est blanc et convient particulièrement à certains usages.

Quand un calcaire argileux n'est cuit qu'incomplètement de manière à ne lui enlever qu'une partie de son acide carbonique, si on le pulvérise et qu'on le gâche à la manière des ciments, on obtient des résultats très-divers, selon le calcaire et la proportion d'acide carbonique retenu; ainsi la prise peut avoir lieu en quelques minutes, et elle peut persister et même faire des progrès, ou bien se terminer par une désagrégation complète. Un calcaire argileux complétement cuit et éteint en pâte ayant fait prise après six jours, le même calcaire, selon qu'il contenait 20 ou 30 pour 100 d'acide carbonique, employé comme ciment, a fait prise après un mois ou après quinze minutes.

A quelques exceptions près, les ciments convenablement cuits s'éventent peut-être plus facilement que le plâtre ; aussi pour leur conserver toute leur énergie, doit-on les garantir avec soin du contact de l'air et de l'humidité; ils font prise en quelques minutes, et quelquefois en quelques secondes, quand ils sont bien vifs, et beaucoup plus lentement, quoique non éventés, après un certain temps de conservation dans des barils. Lorsque la prise du ciment est trop rapide pour en permettre l'emploi, on peut la retarder en l'étendant en couches peu épaisses, pendant quelques jours, sous un hangar ouvert à tous vents.

Les ciments, en s'éventant, se chargent d'une quantité d'eau et d'acide carbonique proportionnée à la quantité de chaux qu'ils contiennent. En cet état, ils ne font plus prise employés seuls ; mais en les mélangeant comme pouzzolane à de la chaux grasse, ils lui communiquent la propriété hydraulique à un degré bien supérieur à celui qu'on peut obtenir d'eux à l'état vif, et de plus la durée de la prise en rend l'emploi très-facile. Selon le degré d'énergie que l'on veut communiquer à une chaux hydraulique ainsi obtenue, on mêle de 100 à 200 parties de ciment à 100 de chaux grasse. Mais si le ciment éventé est employé comme pouzzolane, il suffit de leur adjoindre de 10 à 30 parties de chaux caustique pour 100, selon que l'on veut obtenir une prise plus ou moins rapide sous l'eau.

Les ciments romains peuvent servir à hydrauliser les chaux grasses soit par une action lente, soit par une action rapide ; dans le premier cas, on opère le mélange du ciment en poudre avec la chaux en bouillie, sans se préoccuper de la prise du ciment, qui est détruite

effet d'un gâchage nécessairement prolongé; dans le second, on he à profiter de la vivacité du ciment, et, pour cela, on n'en le mélange qu'avec le mortier et au moment de l'emploi, en t préalablement ce mortier plus clair et moins chargé en chaux l'ordinaire.

ciments s'emploient pour rejointoiements, pour restaurations ices dégradés, pour enduits de citernes, de bassins, de fosses inces, pour chapes de voûtes, pour dallages et carrelages, pour ages d'ornements d'architecture, etc. On en fabrique aussi des ix de conduite pour les eaux et pour le gaz d'éclairage ; ils rend'éminents services pour les travaux à la mer, où l'on a surtout n d'une prise instantanée ; mais tous ne résistent pas indéfini- à l'action saline.

ciments n'offrent, généralement, des garanties bien certaines irée que sous l'eau, dans une terre fraîche, ou dans des lieux amment humides ; à cette condition, ils arrivent en quelques à une dureté que les meilleurs mortiers hydrauliques n'atteit, dans les même circonstances, qu'après un an ou. dix-huit .

plein air, les rejointoiements et les enduits extérieurs en ciment nent difficilement, à cause du retrait qui les fendille et les dée des parements si l'on emploie des mortiers trop gras. Tout nt mis en œuvre contient en effet, dit M. Vicat, une quantité qui, après une dessiccation en apparence complète, peut ver encore à 16 ou 20 pour 100. Cette eau latente n'est pas tellet fixée ou combinée, que le temps, et surtout les grandes cha- d'été, ne puissent en diminuer la quantité par évaporation ; , des gerçures profondes. L'intervention du sable est le seul en à opposer au retrait qui les produit, ainsi qu'aux effets deseurs de la gelée, encore ne réussit-il pas toujours.

TABLEAU de la composition chimique de quelques ciments, d'après les [illegible]
(Recherches sur les causes chimiques de la destruction des composés hydrauliques par l'eau de mer, 1857.)

DÉSIGNATION DES CIMENTS.	Chaux.	Magnésie.	Matières inertes.	Silice.	Alumine.	Peroxyde de fer.	Eau et acide carbonique.	Acide sulfurique.	Principes alcalins.	[illegible]
Ciments naturels.										
Ciment anglais (Médina).	43.45	13.95	»	19.50	5.60	12.05	2.50	[illegible]	[illegible]	[illegible]
— de Cahors	44.45	4.80	»	26.00	12.15	5.50	4.38	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Ancien ciment de Boulogne (Pas-de-Calais).	49.28	2.58	4.305	28.020	9.575	5.726	»	[illegible]	»	[illegible]
Ciment de Pouilly (Côte-d'Or) . .	49.60	»	»	26.000	10.005	5.100	7.25	[illegible]	[illegible]	[illegible]
— de Grenoble (Isère). . . .	58.08	2.132	»	20.587	13.075	3.026	»	[illegible]	»	[illegible]
— de Guetary (B.-Pyrénées).	58.79	»	»	24.748	9.518	5.902	0.78	[illegible]	»	[illegible]
— de Vitry-le-Français. . .	55.70	»	»	20.000	9.770	4.330	6.360	[illegible]	[illegible]	[illegible]
— d'Urrugne (B.-Pyrénées).	63.44	1.11	»	22.75	8.75	3.75	»	[illegible]	»	[illegible]
— de la Batte-Chaumont (Seine).	62.04	2.371	»	22.765	8.254	4.57	»	»	»	[illegible]
— de Zumaya (Espagne). . .	30.90	»	6.65	25.00	18.55	7.45	7.00	»	[illegible]	[illegible]
— de Vassy (Yonne).	49.50	»	»	17.75	6.80	7.35	3.60	[illegible]	»	[illegible]
Ciments artificiels.										
Ciment de Portland (anglais). . .	63.70	»	»	20.84	6.66	5.50	2.39	1.29	»	[illegible]
— — (français) . .	61.75	»	»	25.10	7.25	4.50	[illegible]	»	»	
— français avec argile pure.	55.555	»	»	28.72	15.725	»	»	»	»	
— français avec argile pure.	60.960	»	»	25.40	14.00	»	»	»	»	

En France, les ciments que l'on emploie de préférence dans l[...] structions hydrauliques sont connus sous les noms de *cim*[...] *de Vassy*, de *ciment de Pouilly*, fabrication Lacordaire, de [...] *de Boulogne* et de *ciment de Grenoble*.

897. *Ciment de Vassy*. Les résultats remarquables obtenus [...] les nombreux travaux exécutés depuis 1832 avec le cime[...] doivent le faire classer au premier rang. En effet, la pl[...] devis en prescrivent l'emploi pour les travaux de l'État.

C'est en 1831 que M. H. Gariel découvrit les carrières de [...] naturel, à Vassy-lès-Avallon (Yonne). Depuis, son usine a [...] été seule à fabriquer ce produit dans la localité, et elle [...] fournir 65000 kilog. par jour.

Ce ciment provient d'un calcaire argileux et magnésien d[...] couleur bleu cendre, que l'on trouve immédiatement au-d[...] liais, et dont la composition chimique est, d'après une anal[...] ancienne :

Carbonate de chaux	63,6
Id. de magnésie	1,5
Id. de fer	11,6
Silice	14,0
Alumine	5,7
Eau et matières organiques	3,4
	100,0

duit par la calcination dans des fours à chaux ordinaires, il perd près 40 pour 100 de son poids; sa couleur devient jaune terne, a donné à l'analyse :

Chaux	56,6
Protoxyde de fer	13,7
Magnésie	1,1
Silice	21,2
Alumine	6,9
Perte	0,5
	100,0

près la calcination, on pulvérise le ciment à l'aide de manéges à les verticales analogues à ceux employés pour la fabrication de pouzzolane artificielle (594). On le tamise dans un blutoir à toile cuivre de 18 fils par centimètre, et on l'enferme dans des barues goudronnées et garnies de papier à l'intérieur pour en facir le transport et en assurer la conservation. En cet état, on peut onserver pendant plus d'une année sans qu'il ait rien perdu de qualités essentielles, pourvu qu'on ait eu soin de le placer dans lieu bien sec et hors de contact avec le sol.

e ciment de Vassy contracte par la compression dans les bares une certaine adhérence avec lui-même, et d'autant plus grande le ciment est moins frais. On est quelquefois obligé, pour le reti des barriques, d'employer des pointes de fer, et il ne reprend pas faitement de lui-même son état pulvérulent; il faut assez souvent, r cela, avoir recours à la truelle du gâcheur. Un résultat anae se produit par suite d'avaries; mais, dans ce cas, il est encore s difficile de retirer le ciment des barriques, et sa couleur est deue blanchâtre. Pour qu'il puisse être réputé non avarié et propre bon emploi, il faut que ses fragments non désagglomérés cèdent lement sous la pression des doigts et que sa couleur n'ait éprouvé une altération.

'avarie du ciment ayant pour cause principale l'humidité de l'air biant, elle se manifeste d'abord au contact des parois de la barue, puis gagne lentement, mais progressivement, jusqu'au centre; rrive donc assez souvent qu'une barrique avariée à la surface ferme au centre du ciment très-bon et très-bien conservé.

Le ciment en poudre est très-compressible; il s'affaisse facilement sous son propre poids, surtout si l'on agite par des chocs le vase [illegible] le contient. Aussi sa pesanteur spécifique est-elle très-variable, [illegible] le fait voir le tableau suivant :

	Densité.
Mesuré très-libre, litre par litre, à la sortie du blutoir.	0,8[illegible]
Comprimé dans les barriques pour être livré à la consommation.	1,1[illegible]
Au delà de ce degré de compression, il acquiert avec le temps une force d'expansion suffisante pour briser l'enveloppe.	
On peut par la compression arriver à.	1,5[illegible]
Dans cet état, les barriques se briseraient promptement.	
Retiré des barriques et mesuré immédiatement par petites parties au moment de l'emploi, de nombreuses experiences ont donné. .	[illegible]
Ce dernier chiffre doit être pris pour base de tous les calculs de sous-détails de travaux.	

La quantité de mortier obtenu est à peu près proportionnelle au poids du ciment employé; c'est pour cette raison que le prix de celui-ci est fixé d'après le poids et non sur volume.

Il est d'usage, dans le commerce du ciment, de compter le poids des barriques au même prix que leur contenu.

Le rapport du poids de l'enveloppe au poids total varie de [illegible] à 0,12, suivant la densité et l'épaisseur du bois; soit 0,1 en moyenne. Chaque barrique contient de 100 à 235 litres de ciment, et pèse de 130 à 300 kilog.

Le ciment s'emploie sous la forme de mortier, avec ou sans sable, en y ajoutant une quantité d'eau égale à environ la moitié de son volume. La quantité d'eau varie légèrement, suivant la température et d'après le degré d'humidité du sable.

Un mètre cube de ciment en poudre à la densité de 0,96, converti en mortier sans mélange de sable, perd 17 pour 100 de son volume et donne seulement $0^{mc},83$ de mortier.

On emploie rarement le ciment pur; on le mélange ordinairement avec une certaine quantité de sable dur et purgé de vase et de [illegible] matière terreuse. On obtient par ce moyen un mortier plus résistant, moins exposé à se fendiller à la surface et beaucoup plus économique.

Ordinairement le mortier est composé de volumes apparents égaux de sable et de ciment; mais lorsqu'il doit résister à une forte pression d'eau, il convient d'élever la dose de ciment dans le rapport de 3 pour 2 de sable, et même dans celui de 2 à 1 pour de très-fortes charges d'eau. 2 parties de ciment pour 3 parties de sable donnent encore un très-bon mortier, quoique plus maigre.

Les mortiers en ciment pur ne s'emploient guère que dans les cas qui exigent un durcissement instantané, comme, par exemple, [illegible]

ement de sources dans les radiers des bassins et écluses ou
s cas analogues.

prise du mortier de ciment de Vassy gâché à la sortie du blutoir, mélange de sable, s'opère en une ou deux minutes, quand le re provient des bancs supérieurs; la durée de prise est de cinq t minutes, quand le ciment provient des bancs inférieurs; lors- élève la température de cuisson, cette durée de prise atteint is quatre à cinq heures. Dans les grandes chaleurs, et quand le nt est de récente fabrication, l'ouvrier le plus exercé a besoin velopper une grande activité pour l'employer dans de bonnes tions. L'intervalle entre le moment du gâchage et celui du dur- nent augmente avec l'âge du ciment, l'abaissement de la tempé- e et la quantité de sable, surtout si celui-ci est humide, et il s'étendre jusqu'à une demi-heure en été et une heure en hiver, que le ciment ait rien perdu de ses autres qualités.

moment où commence le durcissement, et pendant que s'opère mbinaison, la température du mortier atteint quelquefois 65° d le ciment est gâché pur.

mortier de ciment gâché et appliqué convenablement est à peu imperméable. Cette propriété augmente dans un certain rapport l'épaisseur, et diminue au contraire avec une trop forte dose de e. Un enduit de 5 centimètres d'épaisseur, composé de trois par- de ciment pour deux parties de sable, peut supporter sans dé- ition une charge d'eau de 5 à 6 mètres de hauteur.

s quatre propriétés fondamentales : *résistance à l'écrasement*, *rence* (pages 279 et 292), *imperméabilité* et *durcissement rapide*, ncontrent à un haut degré dans le ciment de Vassy, et lui don- une grande importance dans les constructions de toute nature, et culièrement dans les grands travaux hydrauliques. On l'emploie :

Pour la restauration ou la consolidation de toutes espèces de maçonneries, de n, brique ou pierre de taille, quelle que soit leur état de dégradation ;

Pour la construction de voutes de ponts, d'aqueducs, d'églises, etc., surtout quand ûtes doivent satisfaire à des conditions de légèreté et de solidité;

Pour enduits de réservoirs, citernes, fosses d'aisances, appartements humides, s d'aqueducs ou d'écluses, crépis de murs ;

Pour travaux à la mer et en rivière, comme rejointoiements, revêtements de pare- dégradés par les vagues, et même pour maçonneries neuves exécutées dans l'in- le des marées ;

Pour toute espèce de scellement ;

Enfin, pour rendre hydrauliques les chaux grasses et pour augmenter l'hydrau- des chaux maigres.

emploi du ciment de Vassy exige des soins très-minutieux et des tudes pratiques longues et soutenues ; les ouvriers ordinaires y sissent d'autant plus difficilement que les procédés de prépa-

ration et d'application de cette matière diffèrent davantage aux habitudes.

Trois choses essentielles sont à observer dans l'emploi du ciment : 1° la préparation des surfaces sur lesquelles on veut l'appliquer ; 2° le gâchage ; 3° l'application. Si une seule de ces opérations est manquée, le succès est compromis.

Préparation des surfaces. Les surfaces destinées à recevoir une application de ciment doivent avoir été préalablement nettoyées et, au besoin, repiquées, pour en ôter toutes les parties altérées et les vieux mortiers ; les joints doivent être dégradés carrément à la profondeur de 2 ou 3 centimètres, et par un lavage complet on doit en faire disparaître jusqu'aux derniers vestiges de poussière. Il faut même, si les surfaces lavées ont eu le temps de sécher, les mouiller de nouveau quelques instants avant l'emploi du ciment. La brique destinée à être employée avec le mortier de ciment doit avoir séjourné dans l'eau pendant un quart d'heure, et en avoir été retirée quelques minutes avant de s'en servir.

Gâchage. Il se fait à la truelle, dans des auges en forme de caisses carrées, à trois côtés relevés ou rebords, le côté ouvert faisant face à l'ouvrier. Le sable et le ciment, dont le volume total peut varier de 1 à 6 litres pour chaque gâchée, selon la nature des travaux, doivent être mêlés à sec dans l'auge, et le mélange disposé en forme de digue pour retenir l'eau, qu'on verse, s'il est possible, en une seule fois sur le ciment, au lieu de jeter le ciment sur l'eau comme on le fait pour le plâtre. On pousse alors rapidement par petites parties avec le bout de la truelle tout le ciment sur l'eau, qui ne tarde pas à être absorbée ; puis on agite le tout avec la truelle pour former un mélange préparatoire, et après avoir repoussé toute la pâte d'un côté de l'auge, on la fait passer successivement par petite partie sous le plat de la truelle, afin d'en broyer et triturer jusqu'aux dernières parcelles ; on repousse de nouveau la matière vers l'autre côté de l'auge, en ayant soin de relever les bords de la pâte sur le milieu, et l'on recommence dans le sens opposé à passer le ciment sous le plat de la truelle. Pour un gâcheur très-attentif et très-agile, ces deux opérations peuvent suffire ; mais avec des gâcheurs ordinaires, le ciment doit être repassé trois et même quatre fois.

Le gâchage du ciment doit se faire par le travail du poignet et non à force d'eau. Au premier tour, le mortier présente l'aspect d'une pâte ferme qui se ramollit sensiblement par la trituration ; au dernier tour, il doit avoir la consistance d'une pâte très-molle dont la surface paraît légèrement huileuse.

Pendant les chaleurs de l'été (époque peu favorable à l'emploi du ciment, surtout si l'on n'est pas à l'abri du soleil), les matériaux étant très-secs, il faut un peu plus d'eau que dans les saisons fraîches

imides; ainsi, en temps pluvieux et froids, il convient de gâcher nent un peu plus ferme afin d'en hâter la prise, et ce doit être ntraire en été, si l'on veut que le mortier ne prenne pas trop mais il faut se garder, dans tous les cas, de l'employer liquide. saison froide et humide est la plus convenable pour l'emploi iment; les petites gelées même ne sont pas nuisibles si le travail l'abri de la pluie. Quand, dans ce dernier cas, l'eau est trop e, la prise du ciment étant très-lente, on peut y remédier en la nt tiédir.

ıpplication du ciment se fait avec la truelle, par jets, à la manière maçons limosins. On doit proscrire l'emploi de la taloche, et il ıut lisser la surface du mortier que dans certains cas particu-, et très-légèrement, comme, par exemple, lorsqu'il s'agit d'en-s de réservoirs. Ce lissage ferme les pores à la surface et complète oudures; mais il donne lieu à des gerçures quand la dessiccation rop prompte. Cette opération doit se faire avant que le mortier commencé à s'échauffer et à durcir ; dès que la chaleur a com-ıcé à se développer, ou que le mortier devient plus ferme, on n'y plus toucher. Toutefois, lorsque le ciment a produit tout son t et que le durcissement est complet, on peut sans inconvénient, e coup d'œil l'exige, comme dans les travaux de restauration de çonnerie de pierre de taille, ou pour des enduits simulant la rre, dresser les surfaces par un raclage au moyen de la truelle ltée, et même tailler le mortier au ciseau à la manière de la pierre ıpareil.

e tableau ci-après donne les quantités relatives de sable et ciment r diverses compositions de mortier.

BLEAU de la composition du mètre cube de quelques mortiers de ciment romain.

MÉROS.	PROPORTIONS EN VOLUME.		VOLUME de sable.	POIDS DE CIMENT, déchet compris.	
	Ciment.	Sable.		sans tare.	avec tare.
			m. cub.	kil.	kil.
1	1	0	0.00	1204	1336
2	3	1	0.35	928	1030
3	2	1	0.46	843	936
4	3	2	0.55	771	856
5	1	1	0.70	651	723
6	2	3	0.84	530	588
7	1	2	0.98	451	480
8	1	2.5	1.00	390	423
9	1	3	1.00	300	325
10	1	3.5	1.00	258	280
11	1	4	1.00	235	255
12	1	4.5	1.00	205	220
13	1	5	1.00	185	200

Le mortier n° 1, c'est-à-dire celui de ciment pur, est employé exclusivement à l'étanchement des sources et des fuites d'eau ; son extrême imperméabilité et sa solidification presque instantanée le rendent très-propre à ces sortes de travaux.

Les mortiers 2, 3, 4 et 5 sont employés pour faire les enduits de fosses, de ... de réservoirs, etc., pour lesquels l'adhérence et l'imperméabilité sont les premières conditions à exiger.

Les mortiers 6, 7 et 8 sont ceux dont l'usage est le plus fréquent : on les emploie avec de grands avantages de solidité pour hourder toutes les maçonneries de ... de briques, de moellons, etc. ; pour faire des rejointoiements de toute nature, des chapes et des enduits de maçonneries neuves ou vieilles ; on les emploie également pour la reprise des maçonneries en sous-œuvre et pour la restauration des parements de pierre de taille dégradés par le temps, et en général pour tous les ouvrages couverts ou continuellement exposés aux intempéries de l'atmosphère, auxquels ils résistent parfaitement.

Les mortiers 9 et 10 sont employés avec de très-grands avantages pour les voûtes et massifs qui peuvent attendre le parfait durcissement avant d'être soumis à de fortes pressions, ou pour lesquels la condition de complète imperméabilité n'est pas indispensable.

Les mortiers de ciment dans lesquels les proportions de ciment sont moindres que pour celui du n° 10 commencent à être maigres et à perdre graduellement leurs qualités principales, autant sous le rapport de l'adhérence que sous celui de l'imperméabilité ; cependant on peut encore les utiliser avec avantage pour les travaux de remplissage et la construction des massifs. Le mortier n° 13 jouit encore de la propriété d'un durcissement presque immédiat (deux heures sous l'eau). Dans un grand nombre de cas, il peut remplacer très-utilement les mortiers de bonnes chaux hydrauliques.

On obtient des mortiers très-hydrauliques, appelés *mortiers bâtards*, en ajoutant à ceux faits avec de la chaux grasse de 1/10 à 1/5 de leur volume de ciment de Vassy en poudre.

La maison Gariel a exécuté depuis 1834, avec le ciment de Vassy, sur presque tous les points de la France et de l'Algérie, un grand nombre d'ouvrages très-importants ; nous allons en citer quelques-uns qui ont présenté quelques particularités, et nous y reviendrons encore à l'occasion de la construction des ponts.

1° *Restauration d'anciennes constructions, rejointoiements, enduits, reprises de parements*, etc.

Fontaines publiques de Paris.

Ponts : Royal, Marie, de la Tournelle, à Paris ; de Charleville (Ardennes), de Decise, sur la Loire ; de Sanitas, à Tours ; de Lavaur (Tarn) ; de Souillac (Lot) ; de Poissy (Seine-et-Oise) ; etc.

Canaux : des Ardennes, de Bourgogne, du Nivernais, du Berry, latéral à la Loire, du Midi, du Rhône au Rhin.

Fortifications du Havre.

Façades : de l'hôtel du Val-de-Grâce, du fort de Vincennes.

Maçonneries à la mer. Bassins des ports : du Havre, de Honfleur, de Caen, de Cherbourg, etc.

2° *Travaux neufs.*

Voûte d'un seul berceau servant de toiture à l'usine de Vassy, formée de 3 rangs de briquettes de 0m,027 posées à plat et recouvertes d'un enduit. Épaisseur totale, 0m,1.. ; longueur, 47m,35 ; corde, 16m,66 ; flèche, 5m,40 ; surface développée, 900 mètres ...

e l'église des frères de la doctrine chrétienne, à Nantes, de forme ogivale sur
;e et d'un seul berceau, formée de 3 rangs de briques ordinaires posées à plat.
ueur, 32 mètres; portée, 11 mètres; flèche, 4 mètres.
e la grande salle de l'hôtel de ville de Clermont (Puy-de-Dôme), construite en
volcanique. Longueur, 25m,80; portée, 10m,40; flèche, 2 mètres; épaisseur
lef, 0m,12.
e l'église de Sauvigny, près Avallon (Yonne), formée de 2 rangs de briquettes de
et recouverte d'une chape. Épaisseur totale 0m,10; corde, 8 mètres; flèche,
tres; longueur de la nef, 26 mètres.
formant planchers, des 3 étages du bâtiment des archives départementales de
le de Lille (Nord); formées d'un rang de briques ordinaires posées de champ,
)m,11 d'épaisseur. Flèche, environ 1/10 de la corde. Elles présentent une sur-
totale de plus de 3 000 mètres carrés.
en voussoirs moulés du bassin couvert de la prise d'eau du canal de l'Ourcq, à
lette, pour la distribution des eaux dans Paris; ces voûtes, supportées par des
s de 0m,40 d'épaisseur, recouvrent une surface de 650 mètres; elles ont 4
es de corde et 0m,35 de flèche.
des canaux de chasse du bassin de la Floride, au Havre, sous les fortifications
us le quai, construites en briques et ciment. Longueur, 50 mètres; corde,
ètres; flèche, 2 mètres; épaisseur à la clef, 0m,54 et 0m,76.
es de couronnement des murs d'escarpe des fortifications du Havre, simulant la
e de taille, sur une longueur de 1 000 mètres, exécutées en briques hourdées
ment et recouvertes d'un enduit.
sement d'une conduite libre de 5 kilomètres de longueur pour l'alimentation
fontaines de la ville d'Avallon (Yonne), avec réservoirs et bâche de prise d'eau.
conduite est formée de deux fortes pièces moulées en ciment de Vassy et frag-
ts de moellons, l'une formant la rigole ou caniveau, l'autre une couverte en
eau. Le caniveau est posé à sec sur le sol, qui est très-ferme, et les pièces qui
omposent sont jointes et soudées bout à bout avec du ciment de Vassy. Les pièces
a couverte sont posées à joints croisés et soudés de la même manière. La section
ide intérieur est de 0m,08. La conduite traverse la rivière du Cousin sur un ar-
, construit en moellons bruts de granit hourdés en mortier de ciment de
y, dont la corde est 31 mètres; la flèche, 3m,10; la largeur, 1m,50; et l'épais-
à la clef, 1 mètre.
truction du pont aux Doubles, sur la Seine, près l'Hôtel-Dieu, à Paris, en une
arche de 31 mètres de corde, 3m,10 de flèche, 1m,30 d'épaisseur à la clef, et
mètres d'une tête à l'autre, en ciment de Vassy et moellon de meulière brute, le
recouvert d'un enduit de même mortier, simulant un appareil de pierre de
e avec joints et refends. Ce pont, le premier de ce genre, a été construit sur
modèle d'un arceau de mêmes dimensions, établi par les soins et aux frais de
Gariel.
marinière du pont de Villeneuve-sur-Yonne. La voûte est en anse de panier de
mètres d'ouverture et 7m,82 de flèche; à l'exception des têtes, qui sont en pierre
taille, elle est en moellons bruts de grès, avec mortier de ciment. L'épaisseur à
lef est de 1m,12.
elle du Cousin, à Avallon (Yonne). Voûte de 30 mètres d'ouverture, 3 mètres de
e et 1 mètre d'épaisseur, en matériaux granitiques bruts et mortier de ciment.
'Arcy sur Cure. Deux voûtes en arc de cercle de 20 mètres d'ouverture, 2m,50 de
e et 1 mètre d'épaisseur. Les têtes seules sont en pierre de taille. Le remplis-
de la douelle est en petits matériaux et ciment de Vassy. Le parement est en-
en mortier de ciment.
le Pont-de-l'Arche, sur la Seine (Eure). Construction en maçonnerie avec ciment,
arches marinières de 30 mètres d'ouverture, en remplacement de 10 anciennes
es.
canal sur la rivière d'Orb, à Béziers. Canal du Midi. Bel ouvrage composé de

9 arches en maçonnerie de pierre de taille et petits matériaux avec mortier de ciment. Le revêtement de la bâche et de la cunette est en ciment

Viaduc sur la rivière de l'Aude, chemin de fer du Midi, composé de 5 arches de 16 mètres d'ouverture surbaissées au 1/10. Les voûtes, sauf les têtes qui sont en pierre de taille, sont faites en petits matériaux et mortier de ciment.

Ponts fixes sur le canal de Berry. Remplacement de divers ponts-levis par des ponts fixes avec voûtes minces en briques et ciment. Ces ponts ont en général 6m,30 de corde, 0m,50 de flèche et 0m,25 d'épaisseur à la clef.

Pont de Masnières, sur le canal de Saint-Quentin. Une arche de 8 mètres de corde, 0m,68 de flèche et 0m,45 d'épaisseur, construite en briques et ciment de Vassy.

Construction ou reconstruction, à Paris, des ponts : Petit-Pont, Notre-Dame, d'Austerlitz, de l'Alma, des Invalides, au Change (6e partie).

Voûtes du viaduc de Bercy.

Construction, à Paris, de plus de 6000 mètres courants d'égouts en pièces moulées de ciment et meulière, de 0m,11 à 0m,20 d'épaisseur, pieds-droits et voûte.

Construction actuelle des égouts de Paris, et entre autres du grand égout collecteur.

Deux aqueducs construits en sous-œuvre sous le canal de l'Ourcq, sans interruption de la navigation. Ces aqueducs ont 2 mètres de hauteur sous clef; l'épaisseur des pieds-droits est 0m,30 et celle de la voûte 0m,20. La maçonnerie est entièrement composée de pièces moulées en ciments et fragments de meulière.

Enduits en ciment de Vassy.

Appliqués aux parements des cuves de gazomètres des compagnies française, parisienne, anglaise, pour des hauteurs d'eau de 8 à 12 mètres.

Aux citernes et fosses d'aisances des forts des environs de Paris.

Aux réservoirs des eaux des villes de Paris, Avallon, Auxerre, Nevers, Castelnaudary, etc.

Sur les radiers de plus de 15000 mètres d'égouts dans Paris.

Sur le radier du grand aqueduc latéral au bassin neuf du port de Caen.

Sur le radier du barrage éclusé de la Monnaie, à Paris.

Sur les réservoirs d'eau de Passy (6e partie).

598. *Sables, arènes et mortiers.* Les sables employés à la fabrication des mortiers doivent être non terreux et entièrement dépourvus de matières animales, lesquelles formeraient avec la chaux un savon soluble qui retarderait la solidification des mortiers. Ils doivent être rudes au toucher, et crier dans les mains lorsqu'on les prend.

On reconnaît si les sables sont bien propres en les remuant dans de l'eau; si celle-ci reste limpide, c'est que le sable est pur et très-bon; si au contraire elle devient bourbeuse, c'est que le sable est terreux.

Généralement on préfère les sables de rivières à ceux de carrières; on est plus sûr d'y rencontrer toutes les qualités des bons sables.

On distingue plusieurs sortes de sables employées à la fabrication des mortiers :

1° Le sable calcaire, qui est formé de particules calcaires mélangées de grains de quartz;

2° Le sable quartzeux, qui ne contient que des particules de quartz;

3° Le sable micacé, qui est formé de débris de granit contenant de la silice et de l'alumine;

4° La pouzzolane (583);

5° Les arènes, qui sont composées de sable quartzeux à grains inégaux entremêlés d'ar-

›rune ou jaune orangé, en proportion de 1/4 aux 3/4 du volume total. Les arènes ›ent toujours les sommets arrondis de certaines collines ou mamelons d'une : élévation, dont elles forment quelquefois la masse principale. Comparées aux s argileux ou limoneux, ce qui caractérise les arènes, c'est une certaine proé pouzzolanique indépendante de toute cuisson, et qui réside, d'après M. Vicat, la partie argileuse seule. Une des meilleures arènes connues s'extrait dans les ·ons de Saint-Astier, Dordogne; la composition de sa gangue argileuse est :

tz ou sable.	4,13	Peroxyde de fer.	12,00
e.	38,54	Carbonate de chaux.	8,00
›ine.	20,00	Eau.	17,00

›ique, à l'exception des arènes, ces différentes sortes de sables rcent à froid aucune action chimique sur la chaux, leur influence a dureté des mortiers est sensible, mais non au même degré toutes les espèces de chaux.

; molécules de chaux grasses ayant entre elles plus de cohésion les n'ont d'adhérence avec le sable, il en résulte que le sable ı ajoute à cette chaux devrait diminuer la dureté que seule elle usceptible d'acquérir; mais comme, d'un autre côté, le sable ite la pénétration de l'acide carbonique, et par suite le durcis›nt du mortier, tout en diminuant considérablement la quantité haux employée, il en résulte que son concours est très-avanux.

·s arènes, et même l'argile crue, mêlées à la chaux grasse dans ›roportions d'une partie de chaux pour quatre parties d'arènes l'argile, donnent une pâte légèrement hydraulique; ainsi, en peu ›urs, le mélange acquiert la consistance d'une pâte ferme insoe, mais qui ne durcit pas davantage. On ne peut attribuer la ilité hydraulique de la pâte qu'à l'action que la silice de l'argile ce sur la chaux, et le peu de dureté qu'elle acquiert qu'à ce que ımine n'ayant pas été torréfiée et durcie, elle empêche la masse ›rendre toute la dureté que devrait lui communiquer le silicate.

ıns les pays volcaniques, on trouve, outre les sables précédents, pouzzolane naturelle qui jouit d'une grande énergie. De même les ciments hydrauliques, elle est un produit du feu. Sa compo›n comprend les mêmes éléments que la pouzzolane artificielle (594), ıuoiqu'elle ait été soumise à une température de beaucoup supéıre au premier degré de cuisson de la brique, lequel est le plus ›rable aux pouzzolanes artificielles, elle n'en jouit pas moins du ne degré d'énergie. On ne peut attribuer cette différence de se ıporter qu'à la décomposition qui s'est opérée depuis longues ans, et qui a ramené les pouzzolanes naturelles à l'état des pouzzoes artificielles les plus cuites.

ıans quelques localités, dans le département de l'Aisne, par nple, on trouve des grès noirâtres, très-friables et d'un aspect

terreux, qui jouissent, avec la chaux, des propriétés de la pouzzolane.

Voici, d'après les expériences de M. Vicat, l'ordre dans lequel on doit classer les sables éminemment siliceux, quant à leur convenance pour différentes chaux qui doivent être exposées à l'air.

Pour les chaux éminemment hydrauliques : 1er le sable fin ; 2e le sable à grains inégaux, provenant du mélange, soit du gros sable avec le fin, soit de celui-ci avec le gravier ; 3e le gros sable.

Pour les chaux communes grasses et très-grasses : 1er le gros sable; 2e les sables mêlés ; 3e le sable fin.

Les chaux qui ont fourni ces résultats avaient été éteintes par immersion (590) ; mais il est probable qu'on y arriverait également par les autres modes d'extinction.

Il n'y a que des expériences directes qui peuvent prescrire les proportions de sable et de chaux qui doivent entrer dans un mortier : elles varient de 1,5 à 4 parties de sable pour une partie de chaux en pâte. Pour les ouvrages où l'imperméabilité est une condition indispensable, le volume de chaux ne doit jamais être moindre que celui des vides que laissent entre eux les grains de sable ; le volume du mortier est alors à peu près égal à celui du sable, excepté cependant dans le cas où les molécules de chaux seraient assez volumineuses pour s'interposer entre les grains de sable et en empêcher le contact.

Le volume des vides laissés entre les grains de sable se détermine en remplissant de ce sable, préalablement desséché, une mesure de capacité déterminée, et à verser dessus une quantité d'eau suffisante pour qu'elle effleure la surface du sable ; le volume d'eau versé est égal à celui des vides.

En opérant ainsi, on trouve que pour les sables de rivière le volume d'eau employé varie généralement de 31 à 34 pour 100 de sable vide compris.

D'après M. Raucourt (*Traité de l'art de faire de bons mortiers*), pour les débris de pierres ou cailloux de 0m,027 à 0,04 de diamètre tels que ceux que l'on mêle au mortier pour la fabrication du béton, il faut, pour un volume de pierre, un demi-volume d'eau et plus, à quelques variations près ; pour des sables ou graviers de 0m,011 à 0m,014 de diamètre, il faut un demi-volume d'eau ; pour des sables gros de 0m 002 à 0m,0045 de diamètre, cinq douzièmes de volume ; pour des sables moyens de 0m,001 de diamètre, deux cinquièmes de volume ; pour les sables fins de 0m,00023 de diamètre, un tiers de volume, et pour les sablons et les terres, deux septièmes de volume.

Proportions pour les sables mêlés, d'après le même auteur.

COMPOSITION À PRÉFÉRER.			VOLUME de sable.	VOLUME de chaux ou ciment.	OBSERVATIONS.
Béton ou mortier mêlé de cailloux.	Cailloux.	20	27	6 + (*)	(*) Plus une addition de chaux égale à la moitié de l'augmentation du volume du mélange. Avec les sables fins, si le volume du mélange augmente, on ajoute un volume de chaux égal à celui de l'augmentation.
	Gros sable. . 1 Sable moyen. 2 Sable fin. . . 4	7			
Mortier de gravier.	Gravier . . . 20 Sable moyen. 2 Sable fin. . . 4	. . .	26	6 + (*)	
Mortier de gros sable.	Gros sable. . 20 Sable fin. . . 5	. . .	25	7	
Mortier de sable moyen.	Sable moyen. 20 Sable fin. . . 5	. . .	25	7	

Il n'y a non plus que des expériences directes qui peuvent donner es proportions de chaux et de sable, ciment ou pouzzolane qui doient entrer dans la composition pour obtenir le degré d'hydraulicité u d'énergie voulue.

Pour des massifs de maçonnerie qui ne doivent être exposés à une ction destructive ou à une charge d'eau considérable qu'à une poque éloignée, on peut employer un mortier non très-hydraulique; n l'obtient avec de la chaux hydraulique faible et du sable, ou avec e la chaux énergique mélangée avec de la chaux grasse et du sable, u encore avec de la chaux grasse et du ciment ordinaire. Si au conaire les mortiers peuvent être soumis à des chances de dégradation resque au moment de leur emploi, ils doivent être très-énergiques, t alors ils se font avec de la chaux très-hydraulique et du sable, ou vec de la chaux grasse ou faiblement hydraulique, du sable et de la ouzzolane ou du ciment romain. Dans tous les cas, il est possible e proportionner l'énergie du mortier pour satisfaire aux conditions xigées.

TABLEAU de la composition d'un mètre cube de quelques mortiers ayant donné de bons résultats.

CHAUX.	VOLUME de chaux.	VOLUME de sable.	VOLUME de ciment de tuileaux.	VOLUME de pouzzolane.	OBSERVATIONS.
	éteinte par fusion.	de rivière.			
	m. cub.	m. cub.	m. cub.	m. cub.	
Grasse (non hydr.). .	0.370	0.950	»	»	Murs de clôture, intérieurs de bâtiments.
— (un peu hydr.)	0.340	»	0.820	»	Pavage des cours.
— —	0.250	0.940	»	[illegible]	Réservoirs, etc.
Hydr. (très-énerg.). .	0.360	1.000	»	0.840	Travaux dans l'eau.
— (énergie ordin.)	0.333	1.020	»	»	Service des eaux et égouts de la ville de Paris, pour les constructions hydrauliques (*).
— (très-énerg.). .	0.400	1.00			
— (énergie ordin.)	0.370	0.950	»	»	Service de la navigation et des ponts de Paris.
		de plaine.			
— —	0.380	1.020	»	»	Maçonnerie du pont de Charenton.
	par immers.				
— —	0.440	1.000	»	»	Pour enduit id.
— (très-maigre).	0.100	1.000	»	»	Les 0m,400 de chaux sont amenés au volume de ... de chaux de 0m,200 (**).
	par fusion.			de Bessan (Hérault).	
Peu hydr. (mortier énerg.)	0.450	0.450	»	0.450	Maçonnerie du pont canal de l'Orb, à Béziers
	par immers.				
Hydr. mortier très-énerg.)	0.480	1.00	»	»	(Chaux du Theil) travaux maritimes des ports de Cette, de Marseille, de Toulon, d'Alger, etc.
	en pâte.				
Mortier de chaux hyd. énerg.	0.550	1.00	»	»	Proportion moyenne indiquée par M. Vicat, pour les bons mortiers hyd. destinés aux maçonneries hors de l'eau.
Chaux hyd. mortier très-énerg.	0.65	1.00	»	»	Proportion moyenne indiquée par M. Vicat, pour les bons mortiers hydr. destinés à être immergés sous une eau profonde.

(*) Les maçonneries des réservoirs recevant les eaux du puits de Grenelle, situés place de l'Estrapade, sont hourdées avec ce mortier, ainsi que toutes celles faites pour les travaux des eaux et égouts de la ville de Paris.

(**) Ce mortier est employé avec avantage, sur une épaisseur de 0m,30 à 0m,40, dans le fond d'une fondation sur un sol douteux. Le réservoir d'eau, situé rue des Amandiers, repose sur une couche de 0m,50 de ce mortier, qui finit par prendre beaucoup de consistance.

Pour les mortiers en chaux grasse, M. Vicat conseille l'emploi de gros sable, à grains non arrondis, c'est-à-dire rudes au toucher. Ces mortiers se composent, sans que leur cohésion varie sensiblement

190 à 240 de sable en volume, pour 100 de chaux en pâte. L'ex-ction sèche de la chaux est préférable à l'extinction ordinaire; force du mortier est de près des 2/3 plus forte, mais il entre plus chaux, quoique le volume de la pâte soit le même. Les mortiers chaux grasse gagnent à être corroyés à plusieurs reprises; c'est qui justifie le procédé lyonnais, qui consiste à en fabriquer d'avance grands tas; d'où l'on tire la consommation journalière, que l'on nd souple au moment de l'emploi par une addition d'eau.

Pour les mortiers de chaux hydraulique, M. Vicat conseille un oyage avec le pilon, ou le rabot, ou le manége, et avec le moins au possible. En moyenne, on emploie 1,80 de sable pour 100 de aux, et un léger écart de ces proportions, en plus ou en moins, sans inconvénient sensible. Pour les mortiers destinés à l'immer-n, il faut assurer la première liaison par un surcroît de 1/6 à 1/5 chaux, en sus de la proportion moyenne, et donner au mortier plus grande consistance possible, ce que l'on n'obtient qu'à l'aide pilon. Pour des enduits ou des crépissages destinés à braver les empéries, on force au contraire la dose de sable, sans s'étonner de maigreur du mélange; la cohésion y perd un peu, mais la ré-tance à la gelée y gagne considérablement. Pour un mortier hy-aulique, la nature du sable a peu d'influence, pourvu que le grain it palpable, net, dur et privé de limon; il ne doit être ni trop fin trop gros, un peu moins de 1 millimètre est une grosseur moyenne nvenable. Les sables de la Seine dragués à Paris sont beaucoup op gros; ceux de la Garonne, de la Dordogne, de l'Allier et de la ire sont satisfaisants. La cohésion finale d'un mortier hydraulique sable moyen étant représentée par 100, elle descendra à 70 pour très-gros sable comme celui de la Seine, et à 50 pour du menu avier. Les chaux hydrauliques gagnent à être éteintes par le pro-dé ordinaire (1°, n° 590); la cohésion augmente peu pour un mortier i reste exposé à l'air, mais elle s'accroît de 1/5 pour le cas d'une mersion constante. Toutes les fois que cela est possible, l'on doit nc préférer l'extinction à grande eau à l'extinction en poudre. Le ortier hydraulique doit être gâché à couvert quand la saison est uvieuse, ce qui suppose le sable mouillé; la chaux employée se mpose alors de 1/2 ou 1/3 de chaux en pâte et le reste en chaux einte en poudre, afin d'absorber l'eau du sable; sans cette précau-n on n'obtiendrait qu'un mortier délavé. Par un temps sec et aud, il devient, au contraire, quelquefois indispensable d'ajouter l'eau, mais on ne doit le faire qu'avec réserve, car il en faut très-u pour noyer le mortier, qui ne doit jamais atteindre l'état de uillie, même épaisse; il doit bien tenir sur la truelle, sans trop ffaisser. Par l'emploi d'un mortier noyé ou introduit entre les erres sous forme de coulis, il y a 50 ou 30 pour 100 à perdre sur la

bonté d'une maçonnerie, selon que la maçonnerie est exposée à l'air ou constamment immergée. Si les matériaux sont absorbants, comme la brique, et d'ailleurs très-secs, on doit les arroser de temps à autre jusqu'au moment de leur emploi ; ainsi le mortier doit être sec et les matériaux mouillés.

899. *Fabrication du mortier*. Les proportions de chaux et de sable étant déterminées, on fait le dosage à l'aide de brouettes d'une capacité déterminée de 5 à 8 centièmes de mètre cube. On procède alors à la manipulation, qui se fait à bras d'hommes dans les petits chantiers et mécaniquement pour les grands travaux.

Manipulation à bras. Sur une aire, faite en planches afin que la terre ne se mélange pas au mortier, on étale environ 3 brouettes de sable en forme de bassin circulaire, dans lequel on verse la quantité convenable de chaux en pâte, quantité qui forme ordinairement une brouettée. On procède alors au mélange du sable et de la chaux à l'aide d'un rabot que l'on pousse en le tenant à plat pour écraser les masses et que l'on tire en le mettant sur le tranchant pour soulever la matière et tirer toujours un peu de sable du bassin sur la partie ramollie. Un manœuvre relève la matière en tas au fur et à mesure que l'autre l'étale avec le rabot.

Il arrive quelquefois que la chaux, surtout la chaux hydraulique, est trop raffermie et le sable trop sec pour permettre un mélange facile. Dans ce cas, on la ramollit avec des pilons avant de se servir des rabots, ou on jette dessus une certaine quantité d'eau. Le premier moyen est préférable ; mais comme il est dispendieux, on emploie souvent le second, dont on peut atténuer les inconvénients en substituant à l'eau un lait de chaux.

Manipulation mécanique. Elle se faisait le plus souvent à l'aide d'un manége à trois roues, mû par deux chevaux, et dont nous avons donné les principales dimensions au sujet de la chaux hydraulique artificielle (586).

Pour se servir d'une telle machine, on place dans toute l'étendue de l'auget la chaux nécessaire à une bassinée ; on fait faire quelques tours aux roues, afin de la bien ramollir, et alors, sans arrêter le manége on jette à la pelle, au fur et à mesure que le mélange s'opère, la quantité convenable de sable. Pendant que le mélange se termine, on accumule autour de l'auget la chaux et le sable pour la bassinée suivante. Un râcloir en fer, qui épouse la forme de l'auget, ramène au fond de cet auget la matière que les roues font monter contre ses parois. Le râcloir est fixé à une tige horizontale et supporté par deux roues de 0m,30 de diamètre qui marchent sur deux rails en fer fixés à 0m,10 du bord de l'auget. Une vanne en bois convenablement fixée au manége fait tomber le mortier dans un trou disposé pour le recevoir, en le faisant passer par une soupape que l'on ouvre dans le fond de l'auget.

eut faire 0^{mc},90 de mortier par bassinée, dont le broyage est ·
è en 22 minutes. Dans un travail journalier de 10 heures, on
ne fabriquer 24^{mc},60 de mortier par manége.
ird'hui la fabrication mécanique du mortier se fait presque
vement à l'aide de tonneaux en bois de chêne d'environ 1^{m},50
teur et 1^{m},10 de diamètre, légèrement évasés par le haut,
par le bas, et portant latéralement, à leur partie inférieure,
verture qui se ferme à volonté avec une porte à coulisse, et qui
'écoulement du mortier. Aux parois intérieures du tonneau,
entes hauteurs, sont fixés des croisillons en fonte, tranchants
ès de dents en fer. Un arbre vertical, placé dans l'axe du ton-
porte trois croisillons armés de dents qui se croisent avec les
res. Ces tonneaux, imaginés par M. Bernard, inspecteur des
t chaussées, ont été employés avec avantage ou port de Toulon.
oger, architecte, a apporté deux modifications importantes aux
ux de M. Bernard: la première consiste en ce que le mortier
e non-seulement par une porte latérale, mais aussi par des
ures pratiquées dans le fond du tonneau, ce qui facilite la
ge ; la seconde, en ce que l'arbre vertical porte des disques en
qui écrasent le mortier contre le fond du tonneau.
simple mélange des tonneaux de M. Bernard, ceux de M. Roger
ent le broiement ; aussi ces derniers fournissent-ils des mortiers
ieurs, surtout lorsque le sable est argileux.
construit des tonneaux Roger de toutes grandeurs: il y en a
nt manœuvrés par un seul homme, d'autres par deux ou par
; il y en a qui le sont par un cheval et même par deux. Sur les
s ateliers on a été amené à utiliser les machines à vapeur pour
en mouvement soit des manéges à roues, soit des tonneaux
urs ; on accélère ainsi considérablement le travail, en même
que l'on obtient une économie sensible dans le prix de fabri-
du mortier. Aux bassins de Passy, une locomobile, de la force
nale de 4 chevaux, manœuvrait deux tonneaux qui fabriquaient
ment par jour chacun 30 mètres cubes d'un mortier très-bien
gé.
and on remplace, en totalité ou en partie, le sable par le
t de tuileaux ou la *pouzzolane*, pour obtenir des mortiers très-
iques, la fabrication, soit à bras, soit mécanique, s'opère comme
le sable seul.
). *Prix de revient de la fabrication du mortier*, à Paris.
Au rabot, on peut établir le prix de revient du mètre cube d'a-
les données suivantes :

iblissement du plancher sur le sol, et l'intérêt du prix et l'entretien des brouettes
ure, des seaux, etc., peuvent être estimés à 30 fr. par année.
rabot coûte 5 fr.; il peut servir à fabriquer 300 mètres cubes de mortier dans

une année, et l'intérêt du prix d'achat et l'entretien peuvent être évalués à 5 fr. par une année.

Un chef d'atelier peut surveiller quatre équipages composés chacun de cinq garçons, y compris les manœuvres qui approchent les matières.

Un chef d'atelier est supposé payé 6 fr. par jour et les garçons 2 fr. 50 c.

Sous-détail de la fabrication d'un mètre cube de mortier.

	fr.
9^h,00 d'ouvrier à 2 fr. 50 c. pour 10 heures.	2,25
0^h,25 de chef d'atelier à 6 fr. pour 10 heures.	0,15
Frais d'outils.	0,13
Total.	2,53

2° *Fabrication avec le manége.* L'établissement du manége revient à environ 440 fr. Pour les établissements successifs du même manége en divers lieux, on peut compter sur 170 fr. de dépense chaque fois.

Supposant que le manége n'a servi qu'une campagne dans un seul emplacement, l'intérêt du prix d'établissement sera de 0^f, 11 par jour de travail, en supposant 200 jours de travail.

Comptant sur 45 fr. pour l'entretien annuel des brouettes, seaux, etc., cela fera par jour de travail 0^f,225.

Pour le service de la machine, il faut, par journée de travail:

	fr.
2 chevaux à 5 fr.	10,00
1 conducteur à 3 fr.	3,00
6 garçons à 2 fr. 50 c.	15,00
1 heure de chef d'atelier à 6 fr.	0,60
Entretien du manége.	1,20
Total.	29,80

Admettant que le manége dure huit ans, après lesquels la valeur intrinsèque des matériaux soit de 100 fr., la perte totale sur le manége sera de 340 fr., ce qui fait 42^f,50 par an, ou 0^f,21 par journée de travail.

La dépense journalière occasionnée par le manége sera donc de $0,11 + 0,23 + 29,80 + 0,21 = 30^f,35$.

Le prix de chacun des 24^{mc},60 de mortier fabriqués par journée de travail sera alors de 1^f,24.

En faisant mouvoir les manéges à roues à l'aide d'une machine à vapeur, on peut réduire de 25 pour 100 environ ces prix de revient.

3° *Fabrication avec un tonneau Roger.* Un de ces tonneaux coûte 1 005 fr., 8 hommes en font le service et fabriquent 25 mètres cubes de mortier en 10 heures de travail, ou 5 000 mètres cubes en 200 jours de travail dans l'année.

L'entretien annuel ne dépasse pas 200 fr.

Admettant que le tonneau dure dix ans, après lesquels les débris valent 100 fr., la perte annuelle sera de 90^f,50.

On peut, comme dans le cas précédent, compter 45 fr. pour l'entretien annuel des brouettes, seaux, etc.

rois dépenses annuelles précédentes, plus l'intérêt, font un : 385f,75; ce qui fait, pour les frais d'outils, par mètre cube tier, 0f,08.

itail par mètre cube de mortier :

r des hommes :

	fr.
3h,2 d'ouvrier à 2 fr. 50 c.	0,80
0h,2 de chef d'atelier à 6 fr.	0,12
Frais d'outils.	0,08
Total.	1,00

c un cheval :

	fr.
0h,40 de cheval et de conducteur à 8 fr.	0,32
1h,6 de garçon à 2 fr. 50 c.	0,40
0h,20 de chef d'atelier à 6 fr.	0,12
Frais d'outils.	0,08
Total.	0,92

brication aux réservoirs de Passy avec deux tonneaux manœuvrés par une ile. M. Cariel, entrepreneur.

issement :

	fr.
Locomobile de la force nominale de 4 chevaux.	4 800
Transmission complète et montage.	1 000
Charpente et ferrements.	150
Les deux tonneaux.	1 000
Total.	6 950

nse journalière :

	fr.
100 kilogrammes de houille.	4,50
Chauffeur.	4,00
Huile, étoupes, chiffons, etc.	1,50
Intérêt, entretien et amortissement.	10,00
2 hommes pour mesurer et approcher le sable ; 2 hommes pour sortir la chaux des bassins et l'approcher ; 2 hommes pour mélanger les matières et charger les broyeurs ; en tout 6 hommes à 3 fr. par jour.	18,00
Faux frais.	2,00
Total.	40,00
Prix de revient de la fabrication du mètre cube de mortier en supposant que l'on ne fabrique que 50 mètres cubes en 10 heures de travail (599).	0,80

1. *Mortier de terre.* C'est avec ce mortier, fait d'une terre aussi euse que possible et exploitée à proximité des travaux que l'on ite, que fréquemment, dans beaucoup de campagnes, on hourde açonneries ordinaires en moellons ou en briques.

ur que le mortier de terre ne se ramollisse pas, on garantit de lie et de l'humidité les maçonneries qui en sont hourdées, en

les recouvrant, lorsque le mortier est sec et a perdu son humidité, d'un enduit, soit en mortier de chaux, soit en plâtre, qui puisse résister aux intempéries de l'air. Ce genre de maçonnerie est fréquemment employé pour la construction des maisons rurales et des murs de clôture, dans les pays où l'on a des matériaux bien gisants offrant par eux-mêmes une certaine stabilité lorsqu'on les range les uns sur les autres.

On fait aussi du mortier avec une terre franche composée d'argile et d'une forte proportion de sable ; on l'emploie exclusivement à la construction des maçonneries de briques qui doivent être soumises à l'action du feu, comme, par exemple, celles des fourneaux de machines à vapeur.

602. *L'eau employée pour l'extinction des chaux* (590), *et en général pour la fabrication des mortiers*, doit, autant que possible, être très-pure. On ne doit faire usage des eaux de mer et de toutes celles qui sont saumâtres qu'autant que l'on est assuré par l'expérience qu'elles fournissent de bons mortiers.

L'emploi de l'eau de mer est presque toujours défendu pour la fabrication des mortiers ; mais ce principe ne doit pas cependant être général. Le mortier fabriqué avec cette eau a une dessiccation très-lente, et il produit pendant assez longtemps, à la surface des maçonneries, des efflorescences salines qui doivent faire supprimer son emploi dans la construction des maisons d'habitation, mais qui sont sans importance pour des travaux maritimes, tels que des murs de quais et des constructions analogues.

L'emploi de l'eau de mer pour l'extinction diminue le foisonnement de la chaux dans une notable proportion; ainsi, 1 mètre cube de chaux grasse de Béziers, éteinte par fusion, donnait en moyenne 2 mètres cubes de pâte quand on employait de l'eau douce, et 1m,[illegible] au plus quand on faisait usage de l'eau de la Méditerranée.

De diverses observations, il résulte que la réduction en pâte d'un mètre cube de chaux grasse absorbe moyennement 880 kilogrammes d'eau de mer, contenant 6k,132 de sulfate de magnésie, ou d'acide sulfurique pouvant engendrer 6k,72 de sulfate de chaux. Si à cette dernière quantité, on ajoute moitié en sus pour la quantité d'eau exigée pour gâcher le mortier, on arrive à 10k,08 de sulfate de chaux. Cet excès de chaux introduite par l'eau de mer dans les mortiers paraît être jusqu'à présent le seul inconvénient de l'emploi de cette eau, et cet inconvénient, tel faible qu'il soit, n'existant pas avec l'eau douce, c'est donc à cette dernière qu'on doit donner la préférence quand on est libre du choix, soit pour l'extinction de la chaux, soit pour la fabrication des mortiers (605).

603. *Béton.* C'est un mélange de mortier hydraulique et de pierres cassées de 3 à 4 centimètres de côté, dans des proportions qui dé[illegible]

es vides existant entre les pierres, et de la dureté et de l'énerprise dont on a besoin pour le travail à exécuter. On dit que n est *gras* ou *maigre*, selon que la proportion de mortier qui est grande ou faible, ou mieux, selon que le mortier remplit étement ou seulement en partie les vides qui se trouvent entre rres.

olume des vides existant entre les pierres se détermine comme le sable (598), en versant sur les pierres sèches, placées dans e de capacité connue, autant d'eau qu'il est possible ; le volume versé est égal à celui des vides.

plusieurs expériences faites de cette manière, il résulte que un mètre cube apparent de cailloux mêlés, de diverses gros-, mais ne dépassant pas $0^m,05$ dans aucun sens, semblables à dont on se sert à Paris, le vide est de $0^{mc},38$, et que, pour les s cassées et les cailloux de grosseur à peu près uniforme et ne ssant pas $0^m,05$, il est de $0^{mc},46$.

ur obtenir un béton dont les vides des cailloux soient bien remle volume du mortier doit dépasser celui des vides ; il doit être oins de 1/4 plus grand ; ainsi, selon que le volume des vides de $0^{mc},38$ ou de $0^{mc},46$, celui du mortier employé devra être au ns de $0^{mc},48$ ou de $0^{mc},58$ pour obtenir un béton plein propre à la struction des massifs de fondations qui doivent résister à la pres- de l'eau.

orsque le béton n'est pas destiné à résister à la pression de l'eau, nd, par exemple, il est employé à la construction de fondations se trouvent au-dessus de la masse d'eau, il n'y pas nécessité qu'il imperméable, il suffit qu'il soit incompressible et qu'il résiste à upture ; alors le volume du mortier peut être égal et même quelfois inférieur à celui des vides des cailloux ou des pierres cassées.

TABLEAU des proportions de mortier et de cailloux mêlés, de diverses grosseurs, mais inférieures à 0m,05, par mètre cube de quelques bétons.

BÉTON.	MORTIER.	CAILLOUX.	OBSERVATIONS.
	m. c.	m. c.	
Gras.	0.55	0.77	Pour radiers, réservoirs, etc., soumis à une pression d'eau considérable.
Ordinaire.	0.52	0.78	Pour les ouvrages de [illegible] et égouts de la ville de Paris.
Id.	0.48	0.84	Pour les travaux de navigation [illegible], fondations de piles de ponts, [illegible] quais, etc.
Un peu maigre. . . .	0.45	0.90	Pour fondations d'édifices sur terrains humides et mouvants.
Maigre.	0.38	1.00	Massifs, fondations, etc., sur terrains non mouvants.
Très-maigre.	0.20	1.00	
Ordinaire.	0.50	1.00	Pour blocs artificiels faits avec mortier à chaux du Theil ; ports de Marseille, [illegible] et Alger.
Moyennement gras. .	0.56	0.90	Jeté dans des enceintes asséchées.
Très-gras.	0.57	0.85	Immergé [illegible] à la mer.

Pour des pierres cassées ou des cailloux de grosseur uniforme, on ajouterait au volume de mortier du tableau précédent l'augmentation de volume des vides.

Il arrive quelquefois qu'on a des cailloux de très-petites dimensions : alors, au lieu d'y mélanger du mortier, on y ajoute simplement une certaine quantité de chaux éteinte, et le mélange de ces matières fournit un excellent béton.

Lors de l'exécution du canal Saint-Martin, plusieurs murs des bassins ont dû être fondés à 3 ou 4 mètres au-dessous du fond du canal. Il suffisait, à cette profondeur, d'établir un massif de fondation incompressible, sans s'inquiéter s'il serait imperméable ou non ; alors on l'a construit avec un béton maigre formé de gravier de la Seine, mêlé avec 1/7 de son volume de chaux hydraulique éteinte. On a ainsi obtenu un tuf artificiel qui, soumis à la pression de l'eau, est resté étanche sous une charge de 0m,40 ; sous une charge plus forte, l'eau l'a traversé, mais il n'en a pas moins fourni les résultats que l'on attendait, tout en ayant coûté à peu près la moitié seulement que des bétons ordinaires.

En général, on obtient plus ou moins d'énergie dans la prise des bétons, suivant que les mortiers employés à leur fabrication sont plus ou moins hydrauliques. On peut activer cette prise autant qu'on le désire, en mélangeant aux mortiers une quantité plus ou moins grande de pouzzolane ou de ciment romain (593 et 596).

604. *Fabrication du béton.* Le dosage des matières se fait, comme

le mortier (599), à l'aide de brouettes de 5 à 8 centièmes de mètre

béton se fabrique à bras d'hommes à l'aide d'une griffe en fer à dents ou avec des machines.

ur fabriquer le béton avec la griffe, on remplit 3 brouettes de oux et 2 avec la quantité proportionnelle de mortier, et, brouet-ar brouettée, on stratifie alternativement les cailloux et le mor-sur une aire en planche, en ayant soin de commencer par une ıettée de cailloux ; car si l'on versait d'abord du mortier, il adhé-it à la plate-forme, et son mélange avec les cailloux serait difficile. la fait, on retrousse le tas à la pelle, puis, avec des griffes, on le de nouveau ; on retrousse la matière, puis on l'étale, et l'on inue ainsi de suite jusqu'à ce que le mélange soit complet ; ce a lieu quand les cailloux sont entièrement enveloppés de mortier.

tail du temps employé à la fabrication d'un mètre cube de béton :

	h.
Lavage des cailloux.	0,60
Charge, transport et étalage des cailloux et du mortier. .	1,70
Mélange.	5,00
Total.	7,30

us-détail du prix de fabrication du mètre cube de béton (600).

	fr.
7h,30 d'ouvrier à 2 fr. 50 c. pour 10 heures	1,82
0h,25 de chef d'atelier à 6 fr.	0,15
Frais d'outils.	0,43
Total.	2,40

uand on a une grande quantité de béton à fabriquer, il convient aire usage de machines.

ı *machine à coffres* est une des premières dont on a fait usage. se compose de 10 coffres. Dans le premier, on jette à la pelle le ange préparatoire qui a été obtenu sur une aire par stratification rouettées, et soulevant successivement les coffres, on amène la ière de coffre en coffre jusqu'à l'autre extrémité de la machine, le béton se trouve fabriqué. La manœuvre est effectuée par 6 ou ıommes, selon l'accélération que l'on veut donner au travail.

es dix coffres étant en fonte et ayant les dimensions indiquées la fig. 1, pl. III, qui en représente deux tout montés, en élévation n plan, la machine coûte environ 550 fr. de premier établissement. n peut admettre qu'elle durerait au moins trois ans, et qu'alors vaudrait 50 fr. ; de sorte que la perte serait de 500 fr., ce qui fait ',67 par an.

'établissement d'une plate-forme à chaque extrémité de la ma-

chine, l'intérêt du prix d'achat des brouettes, seaux, etc., et leur entretien, peuvent être évalués à 80 fr. par an.

Ajoutant à ces deux sommes 300 fr. par an pour l'entretien et les frais de déplacement de la machine, ainsi que 27f,50 pour l'intérêt du prix d'achat, on voit que les frais d'outils s'élèvent par année à 574f,17.

Avec 10 hommes pour faire fonctionner la machine, on peut fabriquer moyennement 35 mètres cubes de béton par journée de 10 heures de travail. Supposant que la machine fonctionne 150 jours par année, elle fabriquera donc 5250 mètres cubes de béton.

Aux réservoirs de la rue de la Vieille-Estrapade, le *nombre d'heures d'ouvrier employé à la fabrication d'un mètre cube de béton* s'est divisé comme il suit :

	h.
Lavage des cailloux	0,60
Dosage et approchage des cailloux et du mortier	2,00
Étendage des cailloux et du mortier, et les placer dans les coffres	0,86
Service de la machine	2,86
Enlèvement du béton	0,60
Total	6,92

Sous-détail du prix de fabrication du mètre cube de béton :

	fr.
6h,92 d'ouvrier à 2 fr. 50 pour 10 heures	1,73
0h,14 de chef d'atelier à 6 fr. pour 10 heures	0,08
Frais d'outils, 574f,17 pour 5250 mètres cubes de béton	0,11
Total	1,92

Au port d'Alger, on a fabriqué le béton avec un *couloir à béton*. C'est une caisse rectangulaire en bois de 1 mètre sur 0m,80 de section et de 2m,50 de hauteur. Elle porte à la partie inférieure une ouverture latérale de 1 mètre de largeur sur 0m,60 de hauteur, par laquelle sort le béton. A la partie supérieure, sur la plus large face de la caisse, se trouve un plan incliné en bois doublé de tôle, sur lequel on place les matières à mélanger, lesquelles, en quittant ce plan, tombent sur un deuxième plan incliné fixé au milieu de la caisse contre la paroi opposée, puis sur un troisième plan dont le bas repose sur le seuil de l'ouverture latérale de la caisse, de manière à y amener la matière mélangée.

Une telle machine, y compris un léger échafaudage ou une rampe pour élever les matières, peut être estimée 150 fr.

En supposant que cet appareil fonctionne 150 jours dans l'année, il pourra fabriquer annuellement 9000 mètres cubes de béton.

Supposant que cette machine a éprouvé à la fin de la campagne une perte de valeur de 100 fr. y compris les réparations, ajoutant à cette somme 7f,50 pour l'intérêt du prix d'établissement, plus 100 fr. pour

;s-formes destinées à préparer les matières et à recevoir le béton
tie de la machine, pour l'intérêt du prix d'achat des brouettes,
etc., et pour leur entretien, on aura une somme de 207f,50
s frais d'outils ; ce qui fait 0f,024 par mètre cube de béton.

e d'heures d'ouvriers employé à la fabrication d'un mètre cube de béton :

	h.
Lavage des cailloux....................	0,60
Dosage et approchage des cailloux et du mortier. . . .	2,00
Pour jeter et étendre ces matières sur le plan incliné du couloir........................	0,86
Pour débarrasser le couloir du béton fait.	0,60
Total.............	4,06

détail du prix de fabrication d'un mètre cube de béton.

	fr.
4h,06 d'ouvrier à 2 fr. 50 pour 10 heures.......	1,015
0h,17 de chef d'atelier à 6 fr. pour 10 heures.....	0,102
Frais d'outils.......................	0,024
Total.............	1,141

couloir est généralement employé aujourd'hui quand on a des
ités considérables de béton à fabriquer; mais, au lieu d'être à
plans, il est souvent à cinq, répartis sur sa longueur et succes-
ient inclinés en sens inverse. Depuis quelque temps on remplace
avantage le couloir en bois par un en tôle de 2m,50 à 3m,00 de
ur et de 0m,60 de diamètre, muni intérieurement de croisillons
· placés dans des sens différents. Ce couloir économique est
à poser et à transporter, et les matières, en le traversant, sont
itement mélangées par les croisillons.

ʃ. *Mortiers employés à la mer.* Les premières recherches faites
:s causes d'altération de certains mortiers par l'eau de mer ne
t que de quelques années, 1842; elles furent provoquées par
ands désastres qui survinrent aux travaux maritimes de Saint-
, de la Rochelle et du Havre, pour lesquels, par des raisons d'éco-
e, les ingénieurs firent usage de mortiers composés de nouvelles
x, de pouzzolanes artificielles et de nouveaux ciments, au lieu
'employer, comme on l'avait fait jusque là, que des mortiers
: efficacité constatée par une longue expérience.

s travaux à la mer qui ont résisté depuis longues années et qui se
ent dans un bon état de conservation ont été établis avec des
iers de pouzzolanes naturelles énergiques unies aux chaux hy-
liques; les mortiers diversement composés de chaux grasses, de
zolanes artificielles et de sable, que l'on a employés dans un but
nomie, se sont ramollis après un temps plus ou moins long, et
a lieu de craindre que les autres n'entraînent également la ruine

des travaux dans lesquels ils entrent. Quelques combinaisons permettent cependant d'espérer beaucoup; ainsi, à Saint-Malo, l'ingénieur Fébvrier a employé avec succès, depuis plusieurs années, un simple mortier de sable de grève et d'une chaux artificielle de double cuisson d'une grande énergie. A Cherbourg, à Brest et sur d'autres points, on a obtenu, avec le ciment artificiel de première qualité composé de craie et d'argile, et connu sous le nom de ciment de Portland, des résultats qui paraissent laisser loin en arrière tout ce qu'on pourrait obtenir des pouzzolanes d'Italie et des bords du Rhin.

En dehors de l'action dynamique des vagues et de celle du temps, il n'a pas encore été possible de déterminer d'une manière absolue les causes des altérations remarquées après un temps plus ou moins long sur certains composés hydrauliques employés à la mer. On est bien arrivé à déduire de l'expérience chimique que ces altérations coïncidant presque toujours avec l'existence en plus grande abondance du sulfate de chaux, elles doivent être en quelque sorte attribuées à ce sel, formé par l'action, sur la chaux, du sulfate de magnésie de l'eau de mer (602). Mais comme, de son côté, la pratique des faits vient mettre en évidence l'action plus ou moins conservatrice produite par les éléments minéralogiques, botaniques et zoologiques que contient l'eau de mer libre, et par les influences de température, de lumière, d'agitation, de profondeur, etc.; il en résulte que jusqu'à présent il a été impossible de donner une appréciation de ces causes et effets de destruction qui ne se trouve pas démentie par quelques faits. Ainsi l'expérience a souvent démontré que tel mortier qui résistera parfaitement à Alger, sera susceptible de s'altérer à Toulon ou dans l'Océan.

La complication de la question de résistance des mortiers destinés à la mer conduit le constructeur à être très-prudent au sujet des expériences de laboratoire; car elles peuvent très-souvent le conduire à une fausse appréciation de ces mortiers, et si elles sont parfois utiles pour reconnaître les premières réactions des matériaux, elles ne sont pas suffisantes pour qu'on puisse en déduire la résistance réelle des mortiers marins dans l'avenir.

Ce n'est que dans l'expérience du temps, et en plaçant les mortiers d'essai dans des conditions identiquement semblables à celles où doivent se produire les effets qu'on veut observer, qu'on arrivera à une solution certaine de la question. « Le seul moyen de connaître l'action de la mer sur un nouveau mortier, dit M. Minard, est de l'immerger en mer libre dans les parages où il doit être employé; vouloir suppléer à la mer par des opérations chimiques de laboratoire serait s'exposer à de nouveaux désastres. »

En faisant des essais en mer libre, l'ingénieur ou le constructeur d'un travail sous-marin doit apporter tous ses soins à déterminer la

és physiques des matériaux à employer, et les proportions quelles ces matériaux entreront dans leur mélange. Ces cons ont une très-grande importance pour la conservation des s en mer. Ainsi, l'expérience démontre fréquemment qu'en le l'affinité chimique des matériaux entre eux, il arrive que es d'altération se produisent dans certaines maçonneries quelles on a fait usage de sables, de cailloux ou de moellons s, susceptibles d'une dilatation ou d'une contraction très- selon la température du lieu où ils se trouvent placés, tandis n indice d'altération ne se remarque dans des maçonneries dans les mêmes conditions, hourdées à dosage égal d'une même ou d'un même ciment, mais faites avec des sables, des cailloux moellons granitiques ou quartzeux.

roportions de chaux, de ciment et de sable à faire entrer dans position du mortier destiné à être employé à la mer, doivent ans tous les cas, établies de manière que la quantité de pâte rès-peu près égale au vide du sable quand il s'agit de mortiers bétons qui ne sont immergés qu'après la prise à l'air; si, au con-, l'immersion doit être immédiate, on augmente la quantité de l'environ 15 pour 100, afin de parer à la perte de pâte produite délavage et la formation des laitances.

r les maçonneries de béton ou de moellons, la quantité de mor-loit être réduite à celle strictement nécessaire pour envelopper et parfaitement entre eux les cailloux ou les moellons. Pour le , cette quantité ne doit pas excéder le volume des vides des cail- augmenté de 1/10 environ quand il s'agit d'une immersion im-ate. Pour les maçonneries de moellons, cette quantité doit être te à la plus stricte limite par un parfait agencement des maté- employés; en effet, on a observé que plusieurs éclats de pierre, s entre eux par un joint en mortier de chaux très-peu hydrau- n'excédant pas 2 à 3 mill. d'épaisseur, étaient susceptibles de r indéfiniment soudés entre eux, bien qu'immergés dans l'eau er après la prise du mortier à l'air, tandis que des éclats de même re, reliés entre eux avec le même mortier et immergés dans les nes conditions, mais l'épaisseur des joints étant de 0^{m},01, n'étaient susceptibles de rester immergés plus de 15 à 20 jours sans que la mposition du mortier eût lieu, et que les éclats fussent séparés. ointe à la condition d'économie et à celle d'augmentation de den-, cette dernière considération paraît de nature à faire préférer, r les travaux à la mer, les maçonneries de moellons à celles de on, tant que cette dernière n'est pas motivée par une immersion médiate avant la prise du mortier.

es eaux de la Méditerranée paraissent posséder à un moins haut gré les causes de destruction des mortiers que celles de l'Océan et

de la Manche : cela est dû sans doute à leur composition, qui paraît être un peu différente, à leur température plus élevée de 4 à 6 degrès, et à leurs courants 4 fois moins rapides sur les côtes.

MAÇONNERIES.

606. Dans les chantiers de maçonnerie on distingue (*Art*, nos 1 à 9.)

1° Les *manœuvres* ou *garçons maçons*. Ce sont les ouvriers destinés à la manœuvre des matériaux sur les ateliers ; c'est par là que commencent les apprentis maçons. Les manœuvres employés au transport de la pierre de taille prennent le nom de *bardeurs*.

2° Les *maîtres garçons*. Ce sont des garçons qui ont fait preuve d'intelligence et de zèle, et que les chefs d'ateliers choisissent comme aides pour les remplacer dans diverses circonstances. Quand un maçon passe chef d'atelier, il choisit souvent son garçon pour en faire son maître garçon ;

3° Les maçons, appelés *maçons limosins* à Paris. Ce sont les garçons ou maîtres garçons qui se sont mis à faire toutes les maçonneries en moellons, meulières, etc., ainsi que le rejointoiements, les rocaillages, les crépis et les enduits grossiers ;

4° Les *maçons à plâtre*. Ce sont ceux qui, dans les localités comme Paris, où l'on fait un très-grand usage de plâtre, terminent les bâtiments élevés par les maçons limosins. Ils font tous les travaux de plâtrerie désignés plus particulièrement sous le nom de légers ouvrages. Dans les localités où le plâtre est rare, on ne l'emploie que pour faire des plafonds, des corniches, etc., et les ouvriers qui le mettent en œuvre prennent le nom de *plâtriers* ou de *plafonneurs*.

5° Les *poseurs de pierre*, chargés de mettre en place les pierres de taille. Pour lever, biller ou caler ses pierres, le poseur se fait aider par un maçon intelligent qui prend le nom de *contre-poseur* ;

6° Le *maître compagnon* ou *chef d'atelier*. C'est l'employé chargé de diriger tous les maçons et garçons d'un même chantier ;

7° Le *commis* ou *conducteur de travaux*. C'est l'employé chargé de conseiller plusieurs maîtres compagnons et appareilleurs (611), et d'en surveiller les ateliers ;

8° Le *tâcheron*. C'est un ouvrier ou un employé auquel un entrepreneur cède une partie de son entreprise, ordinairement de main-d'œuvre seulement.

607. On donne le nom de *maçonnerie* à un ouvrage quelconque composé de pierres naturelles ou artificielles plus ou moins grosses reliées par du mortier, du plâtre, de la terre, ou simplement posées à sec en liaison les unes avec les autres. Il y a aussi la maçonnerie de *pisé*, qui est faite en terre battue et desséchée sur place.

La maçonnerie de pierres se fait en pierre de taille, en moellons, en briques, etc., posés par assises régulières ou irrégulières.

Dans la maçonnerie de moellons ou de meulières à assises régulières, on distingue celle où ces matériaux sont posés bruts, ce qui donne la maçonnerie dite *limosinage* (on se contente d'aligner le parement du mur au cordeau, d'ébousiner les lits et de faire quelquefois sauter avec le marteau les aspérités qui rendent par trop irrégulières les faces horizontales et la face apparente des moellons), et

celle où l'on a taillé préalablement les matériaux, de manière à leur donner une épaisseur régulière dans chaque assise.

La maçonnerie de moellons ou de meulière à assises irrégulières peut se faire en posant les moellons à la main et de manière à parementer le mur, elle prend encore nom de *limosinage*; ou sans même prendre cette précaution, ce que l'on fait généralement pour les fondations et pour les murs adossés à un terre-plein, dans ce cas elle prend le nom de *maçonnerie de blocage*. On appelle aussi blocage le remplissage en éclats de pierre que l'on fait à l'intérieur des murs, entre les pierres ou moellons taillés qui forment les parements, et que l'on place à bain de mortier. La maçonnerie de blocage est d'autant meilleure que l'on proportionne mieux les dimensions des pierres à celles des espaces qu'elles doivent remplir, et qu'elles sont mieux enveloppées d'une couche de mortier sur toute leur surface. Dans la maçonnerie de moellons à assises irrégulières, on peut ranger celle formée de pierres cassées jetées sans précaution, pêle-mêle avec le mortier; c'est la *maçonnerie de béton* (603 et 624).

608. *Maçonnerie de pisé.* Cette maçonnerie économique se fait avec de la terre que l'on comprime simplement sur place, ou que l'on transforme quelquefois préalablement en moellons factices. Particulièrement dans les localités où la pierre est rare, on en érige les constructions de peu d'importance, et surtout les bâtiments ruraux.

La terre argileuse, dite *terre franche*, et la terre végétale sont les plus convenables pour faire le pisé; on y mélange, en les pétrissant, de la paille ou du foin pour les empêcher de gercer en se desséchant. La terre sablonneuse, sans liant, est impropre à la confection de cette maçonnerie; pour qu'une terre convienne, légèrement humide, elle doit faire corps quand on la comprime dans la main.

Après avoir, si cela est nécessaire, passé la terre à la claie, l'avoir mouillée légèrement si elle n'est pas assez humide, et triturée pour mélanger le foin ou la paille, pour les constructions grossières, l'ouvrier la pose simplement dans l'emplacement du mur à construire, en se servant à cet effet d'une fourche ordinaire, qui lui sert en même temps à dresser les parements, dont la position est fixée par des cordeaux tendus.

Pour les maçonneries qui exigent plus de soins, on construit les murs par parties, au moyen d'un encaissement formé par un châssis mobile, dont les deux parois en planches sont maintenues à une distance égale à l'épaisseur du mur. Entre ces deux parois, que l'on place dans les parements du mur, on stratifie la terre par couches de 0m,10 d'épaisseur, que l'on comprime avec des pilons ou des battoirs jusqu'à ce que cette épaisseur soit réduite à 0m,05 ou 0m,06. Le châssis a ordinairement 3 mètres de longueur, 1 mètre de hauteur, et 0m,50 à 0m,60 de largeur, suivant l'épaisseur que l'on veut donner à

la construction. Quand cette espèce de coffre est rempli, on fait sauter les clavettes qui relient ses parois aux traverses qui règlent l'écartement, on enlève les parois, on retire les traverses, et on place le coffre en un autre point du mur. Les trous laissés dans le mur, par suite de l'enlèvement des traverses, se remplissent avec de la terre. En serrant de plus en plus les clavettes des traverses, à mesure que la constuction s'élève, on donne un fruit convenable à ce genre de maçonnerie. Ce fruit est ordinairement de $0^m,007$ à $0^m,008$ par mètre de hauteur pour chaque parement. Pour faciliter la liaison des blocs de pisé entre eux, on incline à 60° environ leurs joints montants, et on a soin que les inclinaisons se trouvent en sens contraire dans les assises voisines; il faut encore, comme dans toutes les autres espèces de maçonneries, éviter que les joints montants se correspondent dans deux assises voisines de blocs.

Quand la terre est à pied d'œuvre, deux ouvriers habitués à ce genre de travail font environ 8 à 9 mètres cubes de maçonnerie de pisé dans une journée de douze heures.

Les maçonneries de pisé ne sont employées le plus souvent que pour des constructions peu élevées et qui ne doivent pas supporter de fortes charges; on en fait un usage fréquent pour les murs de clôture dans les localités où le moellon est rare. Ces murs sont ordinairement recouverts par un toit de chaume faisant saillie de $0^m,12$ à $0^m,15$ sur les parements; on maintient ce toit en place en le chargeant d'une espèce de chaperon en terre enduit et que l'on renouvelle de temps à autre.

Dans les départements de l'Ain, du Rhône et de l'Isère, et dans les pays où le sol argileux ne fournit pas de pierre, on construit des maisons à plusieurs étages en pisé. On rend les murs solidaires entre eux au moyen de pièces de bois de faible équarrissage, reliées entre elles et posées à plat dans les murs de refend et de face. Quelquefois on construit les angles en moellons; mais alors le tassement inégal des différentes parties de la construction est une cause grave de destruction. On augmenterait beaucoup la solidité du pisé, en plaçant dans l'intérieur des murs, à des hauteurs différentes, des lattes ou des verges disposées horizontalement dans le sens longitudinal.

Le pisé acquiert assez de consistance lorsqu'au lieu d'eau pure pour humecter la terre on emploie un lait de chaux.

Un enduit formé d'une partie de chaux pour quatre d'argile, et d'une quantité de bourre suffisante pour en parsemer toute la masse, rend convenable le pisé pour résister à l'action destructive de l'air et de la pluie. Cet enduit ne doit être appliqué qu'après la dessiccation des murs. Dans le département du Rhône, on a reconnu que des murs de $0^m,50$ à $0^m,55$ d'épaisseur, achevés vers le commencement de mai, peuvent recevoir l'enduit à la fin de septembre; que

minés en juillet et même en août peuvent encore être enduits
hiver; mais que ceux finis plus tard exigent au moins six
dessiccation. Le vernis ne doit pas être appliqué pendant les
e gelée, et il convient même que le temps ne soit ni humide
ieux. Plus le pisé est sec, mieux l'enduit s'y attache.
les maisons, et même pour les murs de clôture, une fonda-
maçonnerie de moellons, s'élevant jusqu'au-dessus du sol,
essaire pour empêcher l'humidité de celui-ci de détruire la
n de la terre formant le pisé.

Maçonnerie de pierre de taille. On donne le nom de *pierre de*
ux blocs de pierre qu'un seul homme ne peut ni manier ni
et que pour employer on dresse au moins sur les faces appa-
ainsi que sur les *lits.*

ibages sont les gros blocs de pierre que l'on emploie bruts ou
rement dressés sur les faces pour la fondation des édifices.
pierre doit toujours avoir deux faces normales à la direction de
qu'elle supporte et qu'elle transmet; ainsi dans un mur ver-
s faces inférieure et supérieure de chaque pierre de taille ou
que libage doivent être horizontales. Ces faces prennent le nom
, et elles doivent être les mêmes que celles qui forment les lits
arrière, quand les pierres proviennent de roches stratifiées.
face apparente d'une pierre, c'est-à-dire son *parement*, doit aussi
ressée; il en est de même des faces latérales, que l'on appelle
et qui sont toujours perpendiculaires au parement et aux *lits.*
nne aussi le nom de joint à l'intervalle de 4 à 10 millimètres
ste entre deux pierres et qui reçoit le plâtre ou le mortier. Les
ont dressées avec d'autant plus de soin que la construction doit
ieux finie et plus solide.

s une construction on donne le nom d'*assise* à une même rangée
ntale de pierres. La *hauteur d'assise* d'une pierre est la dis-
entre les lits. Dans une construction solide, cette hauteur doit
même pour toutes les pierres d'une même assise, et si la con-
ion est soignée, elle est la même pour les différentes assises.
dimension d'une pierre perpendiculairement à son parement,
-dire la quantité dont elle pénètre dans l'épaisseur du mur,
lle *queue* de la pierre. Pour une même assise, la longueur de
doit être différente pour deux pierres consécutives, afin de
elier entre eux tous les matériaux d'une même assise. Une
plus longue en parement qu'en queue prend le nom de *car-*
Le rapport entre la longueur du parement et la hauteur d'as-
un carreau dépend de la dureté de la pierre : pour une pierre
, ce rapport ne dépasse pas 2,5; pour une pierre dure, il va à
ne pierre qui est au contraire plus longue en queue qu'en pare-
prend le nom de *boutisse*; sa longueur en parement doit tou-

jours être plus grande que sa hauteur d'assise. Quand une pierre s'étend d'un parement à l'autre du mur, on dit qu'elle fait parpaing, et elle-même prend le nom de *parpaing*.

Les joints verticaux d'une assise ne doivent pas correspondre avec ceux des deux assises en contact, leurs plans doivent être éloignés de 0m,16 à 0m,20 au moins.

Il faut éviter avec soin de placer les joints verticaux ou horizontaux dans les angles rentrants ou saillants que peut former le parement d'un mur; ainsi une pierre formant l'angle de deux murs doit faire partie de ces deux murs afin de les relier, et s'il y a une retraite horizontale dans le parement d'un mur, il faut éviter qu'elle corresponde à un lit, afin de ne pas avoir un joint dans une partie où l'eau peut couler ou séjourner.

610. *Bossages et vermiculures.* Comme il arrive quelquefois que les pierres s'*épauffrent*, c'est-à-dire s'écornent dans les lits, on a imaginé de prévenir cet inconvénient en refouillant d'avance les lits; c'est ce que l'on appelle faire des *bossages*. Cette opération ne se fait que dans les soubassements, où les pierres sont le plus sujettes aux épaufrures, dans les murs de soutenement, les piles de pont, les rez-de-chaussée de certains édifices auxquels on veut donner un aspect de solidité. Quelquefois on ne refouille en bossage que les chaînes saillantes placées de part et d'autre des portes, aux angles des bâtiments, etc.

Pour les pierres sujettes à s'effleurir à l'air, on a imaginé de donner d'avance au parement des murs à peu près l'aspect qu'ils peuvent prendre avec le temps; c'est ce que l'on appelle faire des *vermiculures*.

611. *Appareil.* C'est le détail de la disposition des pierres dans un édifice. *Appareiller* est faire d'avance les dessins qui donnent les formes et les dimensions des pierres qui doivent entrer dans l'édifice. On appelle aussi *appareiller*, tracer la besogne aux tailleurs de pierres, d'après les plans d'appareil; l'*appareilleur* est un premier ouvrier chargé de ce tracé, et de diriger la pose des pierres et leur raccordement; c'est également lui qui fait le choix des pierres sur les carrières, qui en règle l'emploi, trace les coupes, fait les panneaux, etc.

612. *Taille de la pierre.* On taille la pierre dans un endroit disposé à cet effet, près de l'édifice à construire, avant de la mettre en place: c'est ce qu'on appelle *taille sur le chantier*. Cependant la taille de quelques parties ne peut se faire qu'après la pose, c'est ce que l'on nomme *taille sur le tas;* le *ravalement*, qui consiste à régulariser les parements se fait ainsi. En même temps que l'on fait le ravalement on exécute le *rejointoyement*, qui consiste à remplir les parties apparentes des joints et des lits avec du mortier.

La taille des parements de moulures se fait ordinairement sur le s pour la pierre tendre; il en est de même pour les pierres dures rsque les profils renferment des moulures de petites dimensions, ı exécute seulement sur le chantier des tailles d'*épannelage*, qui nsistent à préparer la masse dans laquelle on doit faire les moures. Pour les pierres très-dures, et lorsque les moulures ont de andes dimensions, il y a avantage à faire la taille sur le chantier, même à la carrière, quand elle est très-éloignée.

On donne le nom d'*abatage* à la partie de pierre piochée ou jetée ıs à l'extérieur de deux faces adjacentes conservées, pour former les ıgles saillants d'avant-corps, de harpes, de crossettes, de claveaux, l'épannelage des moulures, etc., ou encore pour donner une forme ;lindrique à une pierre. On appelle *évidement*, la partie de pierre iochée entre deux faces adjacentes pour faire des angles rentrants arrière-corps, etc. Enfin, on nomme *refouillement*, toute partie de ierre évidée à la masse et au poinçon entre trois ou un plus grand ombre de faces.

Pour tailler la pierre, on fait usage de différents outils, dont la rme dépend de la dureté de la pierre, de sa nature et de l'usage ıquel on la destine. La pierre calcaire tendre se débite à la scie à nts; elle se taille avec le *ciseau*, la *pioche à pierre tendre*, le *marau*, dit *rustique* et le *marteau tranchant*, et on termine les parements à la *ripe*. La pierre calcaire dure se débite au moyen de la scie ıns dents et du sable; elle se taille avec le *têtu*, le *ciseau*, la *gradine*, *pioche*, le *poinçon*, le *marteau bretté*, la *boucharde*, et on termine *la ripe*. Les marbres et les calcaires très-durs, les granits, les ıves, les basaltes, les grès sont taillés à la pointe. On se sert queluefois, pour tailler les grès, du marteau dit *épinçoir*, que l'on emloie pour fendre les grès, en étonnant la masse par de petits coups e ce marteau frappés dans une direction déterminée, résultat que on obtient également avec la pointe.

Dans beaucoup de localités, pour la pierre destinée aux ouvrages ydrauliques, tels que ponts et écluses, on se contente du fini non ésagréable que laisse la *boucharde*; à Paris les parements sont *layés*.

L'ouvrier, pour tailler sa pierre, amène le parement qu'il dresse ous un angle de 17 degrés environ avec la verticale. La taille d'une ierre se commence ordinairement par un lit, et se continue successvement par le parement, les joints, l'autreparement s'il y a lieu, et ıfin le second lit.

Toutes les faces d'une pierre de taille doivent être parfaitement essées; mais la taille des lits et des joints doit être grossière, afin ıe le mortier adhère bien à la pierre.

Les outils mis en usage pour la taille de la pierre sont :

1° Le *têtu*, lourd marteau en fer aciéré, portant une tête carrée d'un côté et une pointe de l'autre, et qui sert pour dégrossir les pierres très-irrégulières et de beaucoup d'*abatage* ;

2° Le *ciseau* en fer à tranchant aciéré. Quelquefois le tranchant est remplacé par une simple pointe, ce qui donne le *poinçon*, employé ordinairement pour les rabotements et percements de trous. Les *gradines* sont des ciseaux dont le tranchant est dentelé; on en fait usage pour tailler les pierres très-dures;

3° Le *maillet en charme* ou *en buis*, de forme variable, servant à frapper sur la tête du ciseau, de la pointe ou de la gradine; le maillet est parfois remplacé par une massette en fer;

4° La *pioche à pierre dure*, marteau en fer terminé par des pointes aciérées à 4 pans. La *pioche à pierre tendre* a à peu près la même forme que la précédente; seulement une des pointes est remplacée par un tranchant de 3 à 4 centimètres de largeur, et l'autre par une *herminette* (tranchant perpendiculaire au manche), de même largeur;

5° Le *marteau bretté* ou *laye*. C'est un marteau à deux tranchants découpés en dents; pour les pierres tendres, un tranchant seul est ordinairement bretté. Une pierre dressée au marteau bretté est dite layée;

6° Le *rustique*, qui est un marteau bretté dont les dents sont beaucoup plus écartées;

7° La *ripe*, tige en fer que l'ouvrier prend à la main; elle porte un tranchant à chaque bout, l'un denté et que l'on passe sur la pierre après le marteau bretté, et l'autre uni pour finir la taille;

8° La *boucharde*, marteau à deux têtes carrées taillées en un grand nombre de têtes de diamant, et dont on frappe à plat les parements dégrossis à la pioche. Sur différents travaux hydrauliques, les parements des pierres sont entièrement terminés à la boucharde fine, avec laquelle on les frappe entre quatre ciselures régulières qui forment les arêtes de la pierre. A Paris, les parements des pierres sont layés, c'est-à-dire passés au marteau bretté, puis finis à la ripe;

9° L'*épinçoir*, espèce de marteau à deux tranchants non coupants;

10° L'équerre en fer et les règles.

613. *Bardage, montage et pose de la pierre.* Une fois que la pierre est taillée, on procède à son *bardage*, qui consiste à la transporter au point où elle doit être employée. On fait usage à cet effet : 1° du *chariot*, voiture très-basse à deux roues, employée ordinairement pour les pierres de gros volume, et traînée par 6 hommes avec le *pinceur*, aidés souvent encore par un cheval attelé en avant de la flèche; 2° du *diable*, chariot de petite dimension, employé principalement pour les petits morceaux de pierre; il est ordinairement traîné par 2 à 4 hommes avec le pinceur; 3° du *binard*, chariot bas à 4 roues, utilisé pour les pierres d'un fort volume, et traîné par 1 à 3 et parfois jusqu'à 5 chevaux; 4° du *bard*, civière dont on fait assez souvent usage pour les petites pierres.

Afin de faciliter la manœuvre de la pierre, le chef bardeur au moins est muni d'une *pince* en fer, dont une extrémité se termine en langue de chat, tandis que l'autre est recourbée et porte un talon.

Une fois le bardage opéré, la pierre se descend sur le *tas* en la faisant glisser sur un plan incliné, au moyen de rouleaux. On modère, si cela est nécessaire, la vitesse à l'aide d'une corde fixée à la pierre

roulant sur un treuil ou un pieu de retenue. On peut aussi
;er pour descendre la pierre sur le tas les appareils mis en
›our l'élever, et qui consistent en une *chèvre* ordinaire, ou en
pèce de *grue*, appelée *sapine*, formée d'un grand arbre en sa-
ırnant sur pivot et maintenu à la partie supérieure par un
dans lequel tourne un fort goujon fixé à son sommet; des
ns convenablement disposés et en nombre suffisant retiennent
ier.

›urd'hui on remplace avec avantage la sapine par un appareil
s ouvriers désignent également sous le nom de sapine, et qui
mé de quatre grandes pièces de bois de sapin s'élevant à 2 mè-
ıviron au-dessus de l'édifice à construire, et dont l'équarris-
u gros bout doit être au moins de 0m,35 sur 0m,35 pour une
eur de 20 mètres. Ces pièces sont scellées fortement dans le sol
ommets d'un rectangle ayant en moyenne 3 mètres sur 2 mè-
our une sapine de 20 mètres de hauteur, le grand côté de ce
ıgle étant placé parallèlement à l'édifice. De plus, chaque pièce
liée à chacune de ses voisines, sur toute sa hauteur, par quatre
de Saint-André de 5 mètres de longueur, en fortes planches,
r des traverses, le tout bien boulonné, de manière à obtenir une
pente très-rigide. Enfin, sur le cadre formé par les traverses
nt les sommets des quatre poteaux, on repose deux poutrelles,
: lesquelles on place la poulie sur laquelle passe un câble ou
chaîne manœuvré par un treuil ou une machine Grondar
au pied de l'appareil, comme pour la sapine simple ou pour la
re.

s poteaux maîtres sont garnis, de bas en haut, d'échantignoles
›is ou de tiges en fer, lesquelles, en faisant office d'échelons,
ıettent de monter au sommet de l'appareil ou d'en descendre.
: des grands avantages de cette disposition consiste en ce qu'on
ıux deux poteaux voisins de l'édifice une traverse horizontale,
aquelle on place des plats-bords, dont l'un des bouts repose sur
açonnerie; ce qui constitue un chemin solide que l'on établit à
: hauteur, et qui permet de décharger et de manœuvrer les ma-
ux avec plus de sécurité qu'avec la sapine simple.

›ur fixer la pierre au crochet de la mouffle de ces appareils, on
loie une corde sans fin, appelée *élingue* ou *braye*, que l'on dis-
autour de la pierre; les extrémités de cette corde sont réunies
lement par une *épissure*. Crainte que les angles de la pierre ne
uffrent, on les garnit de petits paillassons aux points où porte
ıgue. Pour les monuments qui réclament une grande netteté
aille de pierre, on remplace l'élingue par un petit instrument
'er, appelé *louve*, qui se loge dans un trou creusé en queue
onde dans la pierre. On ne peut employer la louve avec des

pierres tendres, elle les ferait éclater. Souvent on remplace cet instrument, dont l'usage est assez coûteux, par une simple vis à filets triangulaires, dont la tête porte un anneau. On fait au milieu de la pierre, à l'aide d'un *trépan*, un trou de même diamètre que le noyau de la vis, de sorte qu'en y forçant cette dernière, ses filets pénètrent de toute leur saillie dans les parois du trou.

Une fois les pierres descendues ou montées sur le tas, on les conduit au point qu'elles doivent occuper au moyen de rouleaux en bois, dont le diamètre va en diminuant depuis le milieu jusqu'aux extrémités, afin que l'on puisse facilement changer la direction du mouvement, et que les pierres ne portent pas par les angles. Ces rouleaux ont de $0^m,06$ à $0^m,08$ de diamètre sur $0^m,60$ à $0^m,70$ de longueur; on les fait rouler sur des madriers en bois placés sur la maçonnerie, laquelle étant fraîche pourrait s'ébranler sans cette précaution.

Pose de la pierre de taille. Lorsque la pierre à poser est approchée à pied d'œuvre, on commence d'abord par la présenter dans la place qu'elle doit occuper, en la faisant reposer sur des cales en bois et quelquefois en plomb, ayant une épaisseur égale à celle que l'on veut donner au joint de mortier, c'est-à-dire de 4 à 10 millimètres. Ces cales se placent aux angles de la pierre et au moins à 3 ou 5 centimètres des arêtes, afin d'éviter les écornures. Lorsque le poseur s'est ainsi assuré que la pierre a bien toutes les dimensions voulues, il la soulève à la louve, ou lui fait faire quartier sur le côté; puis il nettoie et arrose, si la pierre est tendre et spongieuse, l'assise inférieure et la pierre qu'il pose; il étend sur toute la surface que doit couvrir la pierre une couche de mortier fin, d'une épaisseur un peu plus forte que celle des cales; il met la pierre en place, et il frappe dessus avec un pilon ou un maillet en bois, jusqu'à ce que le mortier *souffle* de toutes parts, et que la pierre repose sur les cales. Il convient d'enlever les cales quand la pierre occupe sa position définitive.

Il arrive très-souvent que l'on pose les pierres de chaînes d'angles et autres, de tablettes de couronnement, etc., en étendant de suite la couche de mortier fin, sans mettre de cales, et en réglant son épaisseur avec la truelle. Pour opérer ainsi, il faut que le mortier soit assez ferme, sans quoi le poids de la pierre le ferait couler, et l'on obtiendrait des joints d'une épaisseur trop faible et non uniforme. ce qui ne nuirait pas peu à la solidité de la construction.

Dans tous les cas, avant de poser la pierre, il faut s'assurer avec soin que le mortier ne contient aucun gravier dont la grosseur excède l'épaisseur que doit avoir le joint, ce qui obligerait, pour les retirer, de soulever la pierre déjà mise en place et ralentirait l'exécution.

Quelquefois les lits des pierres sont flacheux sur le derrière, c'est-à-

ie la queue se termine plus ou moins en pointe. Pour remédier
iconvénient, on remplit ces flaches avec des éclats de pierre
ue l'on enfonce dans le mortier.
s cette pose, l'ouvrier doit autant que possible rendre nul l'ef-
petits défauts de la taille des parements ou des lits et joints;
apporter une grande attention à éviter les *balèvres*, qui néces-
ordinairement un ravalement dispendieux. S'il se sert de la
pour faire abatage, il doit, pour éviter les écornures, placer
it de latte ou de planche sur le bord des arêtes de la pierre, au
où porte la pince.
fois que la pierre est bien en place sur un bon lit de mortier,
reste plus pour terminer la pose qu'à remplir les joints mon-
ce que l'on fait ordinairement à l'aide de la *fiche* à dents en
ime en fer plat dentée sur son pourtour).
autre moyen de poser la pierre consiste à la placer sur cales,
ie il a été indiqué ci-dessus, en ayant toujours soin de net-
l'assise inférieure; puis à ficher les joints, c'est-à-dire à les gar-
mortier que l'on y fait pénétrer au moyen d'une *fiche* à dents.
ents de cet outil pressent le mortier et le font pénétrer sous la
e; mais comme la pression est proportionnelle à la surface pres-
e, et qu'elle peut par conséquent être énorme, il arrive parfois
les pierres sont ébranlées; quelquefois aussi il y a impossibilité
ire pénétrer le mortier en tous les points du joint. Malgré ces
nvénients, cette manière d'opérer est fréquente, parce qu'elle
lus facile et plus expéditive que la première, qui doit toujours
tre préférée sous le rapport de la solidité de la maçonnerie.
ploi de la fiche à dents n'est réellement d'un bon effet que pour
oints montants.
Paris, et dans presque toutes les localités où l'emploi du plâtre
ommun, on fait généralement usage d'un troisième moyen pour
r les pierres, et principalement les pierres tendres. Ce moyen
iste encore à poser les pierres sur cales, comme il a été indiqué
essus, et à les *couler* ensuite, c'est-à-dire à remplir le lit et les
ts avec du plâtre gâché très-clair ou coulis (582); on fait même
lquefois du coulis avec du mortier de chaux ou de ciment. Pour
e ce remplissage, on ferme tout le contour des lits et des joints
: du plâtre ou du mortier d'une consistance suffisante, en lais-
t libre, à la partie supérieure des joints, une petite étendue sur
ielle on fait un godet dans lequel on verse le coulis; on a soin de
iuer constamment celui-ci en le versant, afin qu'il reste bien
nogène et que l'eau ne s'introduise pas seule dans les joints.
orsque les pierres sont posées sur plâtre, la prompte solidifi-
ion de cette matière oblige d'avoir recours à ce troisième moyen,
tout pour les pierres tendres; on n'aurait pas le temps, avant la

prise, de placer convenablement la pierre sur un lit de plâtre d'abord étendu.

Il n'en est pas de même du mortier de chaux, et comme son coulis fournit toujours de mauvais résultats, il convient de n'en pas faire usage. La quantité d'eau qu'il contient étant absorbée par la pierre, il se forme presque toujours des vides que l'on remplit difficilement, malgré tous les soins que l'on met à le faire au fur et à mesure de cette absorption ; et comme de la dessiccation du coulis de mortier de chaux il résulte encore un retrait qui augmente ces vides, il arrive très-souvent que la pierre repose entièrement sur les cales, lesquelles, en pourrissant, occasionnent des tassements considérables dans les maçonneries.

Lorsque la pose de la pierre se fait dans l'eau, il y a impossibilité de faire usage de mortier, qui serait délayé et lavé ; alors on se contente de poser simplement les pierres sur cales, qui doivent être en plomb de préférence au bois. Un bon mortier à prise rapide et énergique, comme celui de ciment romain, par exemple, peut cependant être employé pour poser les pierres sous l'eau.

Quand toutes les pierres d'une assise sont posées, il arrive presque toujours que quelques-unes sont plus élevées que les autres ; il y a alors nécessité de dresser tout le lit supérieur de l'assise, en enlevant toutes les saillies, avant de poser les pierres de l'assise qui doit la couvrir ; sans cette précaution, il est impossible d'obtenir une belle et solide maçonnerie.

Enfin, quand l'ensemble de la maçonnerie est terminé, on procède au *ravalement*, au *ragrément* et au *rejointoiement* des surfaces apparentes.

TABLEAU du volume de mortier ou de plâtre employé par mètre cube de différentes maçonneries de pierres de taille.

	m. cube
Libages ordinaires	0,090
Assises ordinaires de 0m,80 à 0m,50 de hauteur	0,075
Id. de 0m,50 à 0m,80 *id.*	0,065
Parpaings et assises de 0m,25 à 0m,30 d'appareil	0,080
Claveaux de plates-bandes droites	0,085
Voûtes en berceau et en arc de cloître	0,100
Voûtes d'arête et sphériques	0,105
Marches, seuils et appuis pour garnissage et coulement	0,175
Dalles de 0m,06 à 0m,10 d'épaisseur, 0m,023 par mètre superficiel	0,290

614. *Maçonnerie de moellons.* On distingue, quant à leur nature, trois espèces principales de moellons :

1° Les *moellons de roche* (570), que l'on emploie pour les travaux hydrauliques, les

murs et les massifs qui doivent avoir une très-grande résistance, et les enrochements qui ont besoin d'une densité maxima ;

2° Les *moellons de banc-franc*, ou *moyennement tendres*, qui servent à élever les murs de clôture et ceux des bâtiments en élévation, à cause de la légèreté qu'ils acquièrent en séchant ;

3° Les *moellons tendres*, avec lesquels on peut faire à peu de frais des parements parfaitement dressés, à cause de la facilité avec laquelle on les taille.

Les moellons de roche et de banc-franc que l'on emploie à Paris et dans les environs viennent des plaines de Vitry, d'Arcueil, de Mont-Rouge, de Passy, du Moulin de la Roche, de Vaugirard, etc. Les moellons tendres qui sont les plus traitables et qui soutiennent le mieux les arêtes sont tirés des carrières de Saint-Maur, Creteil, Carrière-Saint-Denis, Houilles, Nanterre, Montesson, ainsi que du Buisson-Richard, situé à Carrière-sous-Bois, près Saint-Germain-en-Laye.

Sous le rapport de leur emploi, les moellons se divisent en quatre classes :

1° Les *moellons bruts*, que l'on emploie tels qu'ils arrivent de la carrière, avec la seule précaution de les humecter pendant les grandes chaleurs. On en fait spécialement usage pour les murs, les massifs et les remplissages qui ont une forte épaisseur, ou qui sont simplement bloqués et non parementés.

Les moellons bruts tendres ont toujours besoin d'être légèrement ébousinés.

Quand les moellons bruts ont des dimensions qui n'excèdent pas 0^m,10 à 0^m,15 de de côté, ils prennent le nom de *garnis*, et on les emploie avec avantage pour caler les moellons et remplir les vides occasionnés par les formes irrégulières des moellons bruts ;

2° Les *moellons ébousinés*, qui sont ceux que le maçon taille lui-même légèrement sur les lits et les joints, avec sa hachette, au fur et à mesure qu'il les emploie ; on en construit ordinairement les murs de fondation, et les autres qui doivent recevoir un enduit ;

3° Les *moellons smillés*. On désigne ainsi les moellons dont on a taillé assez proprement les parements, les lits et les joints, et que l'on emploie à la construction des voûtes et des murs dont la surface est seulement rejointoyée ;

4° Les *moellons piqués*. Ces moellons sont taillés comme les précédents, mais avec plus de soin, de manière à en rendre les arêtes vives et bien droites.

5° Les *moellons d'appareil*. On nomme ainsi des moellons parfaitement équarris et parementés comme la pierre de taille, et que l'on taille sous différentes formes pour carreaux, angles de soupiraux, sommiers et voussoirs pour baies de portes cintrées ou en plates-bandes, etc. Les ouvrages faits avec ces moellons ne diffèrent de ceux construits en pierre de taille que par les moindres dimensions de leurs matériaux.

Pour liaisonner les moellons, on suit les mêmes règles que pour la pierre de taille (609); ainsi il faut avoir soin, dans une même assise, de placer un moellon court à côté d'un long, et de ne jamais mettre les joints en ligne droite; il faut éviter aussi que les joints verticaux se correspondent dans des assises en contact.

La pose des moellons n'offre pas les difficultés de celle des pierres de taille; les morceaux étant plus petits, ils sont moins lourds, et par conséquent plus maniables; aussi les pose-t-on toujours directement sur plâtre ou sur mortier de chaux, sans faire usage de cales.

Pour la *maçonnerie de moellons bruts ou smillés, hourdée en mortier de chaux*, après avoir nettoyé et mouillé l'endroit où il doit poser ses moellons, et arrosé ceux-ci s'ils sont trop secs, afin de faciliter l'adhérence du mortier à la pierre, le maçon étend une couche de mortier de $0^m,02$ à $0^m,03$ d'épaisseur sur l'assise, le long du parement du mur ou du massif qu'il construit; cela fait, il commence par poser sur cette couche de mortier les plus beaux moellons pour continuer le parement, en les tassant au fur et à mesure avec sa hachette sur la couche de mortier, et en les amenant dans le plan des lignes ou cordeaux. Après avoir posé un moellon, l'ouvrier doit avoir soin de garnir de mortier son joint montant libre, et de poser alors le moellon voisin sur la couche de mortier, en le poussant avec la hachette contre le moellon voisin, jusqu'à ce que l'épaisseur du mortier qui les sépare n'excède pas $0^m,02$. L'ouvrier doit avoir soin de placer en dessous le plus beau des lits de chaque moellon, et de caler les moellons qui sont maigres de queue en enfonçant des éclats de pierre dans la couche de mortier. Chaque moellon doit être bien affermi et tassé avec la hachette sur la couche de mortier; sans cette précaution, les vides qui pourraient rester dans la maçonnerie occasionneraient des tassements qui nuiraient considérablement à la stabilité de la construction.

Une fois les moellons des parements posés, l'ouvrier procède au blocage (607); pour cela, il étend un lit de mortier, en ayant soin d'en bien garnir le derrière des moellons de parements; alors il pose à bain de mortier les principaux moellons de blocage, en les entremêlant bien les uns avec les autres, et en les affermissant avec la hachette; enfin, il arase l'assise en remplissant avec soin tous les vides qui se trouvent entre les moellons avec du mortier, dans lequel il enfonce des éclats de moellons, qu'il frappe avec la hachette jusqu'à ce que le mortier souffle de toutes parts.

Quand l'assise est ainsi arasée, le maçon ramasse avec soin le mortier qui recouvre les joints, et il l'applique sur le blocage. Beaucoup d'ouvriers enduisent les joints à chaque arase d'assise; c'est une très-mauvaise habitude sous le rapport de la solidité de l'ouvrage ainsi que sous celui de l'économie de temps et de mortier. En effet, les joints étant ainsi enduits, le dessus de l'assise forme une surface lisse à laquelle la couche de mortier qui sert à poser l'assise supérieure adhère difficilement, surtout quand l'enduit a eu le temps de sécher. ou qu'il se trouve couvert de poussière.

Dans les murs d'une faible épaisseur, on arase autant que possible chaque assise; mais pour les massifs il est bon de laisser des moellons faire saillie sur le plan de l'assise, afin de relier cette assise avec celle qui sera placée dessus.

La marche à suivre dans l'exécution des *maçonneries de moellons*

ourdées en plâtre n'est autre que la précédente, sous le rapport de a disposition des matériaux; mais la prise rapide du plâtre oblige l'apporter quelques modifications dans la manière d'opérer. Le maçon ommence par préparer les moellons qui doivent former une ceraine étendue du parement de l'assise, en les mettant provisoirement n place à sec; il commande alors le gâchage d'une quantité de plâtre u plus suffisante à leur pose; il enlève les moellons préparés, en les laissant dans l'ordre de leur emploi, afin de ne pas avoir à les choisir, et de pouvoir les poser avant la prise du plâtre dans l'auge; il remue le plâtre qu'on vient de lui apporter, il en étale sur le tas avec sa truelle une quantité suffisante pour poser seulement deux ou trois moellons, lesquels, étant en place, il pose de même les deux ou trois suivants, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il ait employé tout le plâtre contenu dans son auge; il doit avoir bien soin de remplir les joints et de caler avec des éclats de pierre les moellons maigres de queue, au fur et à mesure de la pose.

Pour faire le blocage ou garnissage, le maçon étale un lit de plâtre entre les moellons des parements, et dessus il pose les moellons, en laissant entre eux des joints d'une largeur suffisante pour qu'on puisse bien les remplir de plâtre; il doit de plus avoir soin de bien poser tous les garnis à bain de plâtre.

Des maçons ont la mauvaise habitude de poser seulement sur plâtre les moellons des parements, et de garnir l'intérieur du mur à sec, en jetant ensuite sur ce garnissage du plâtre pour remplir les vides. On conçoit qu'une telle manière d'opérer ne peut fournir une maçonnerie bien pleine et présentant toute la solidité dont elle est susceptible; les ouvriers qui la suivent croient économiser le plâtre, mais c'est une erreur, car ils en emploient autant et quelquefois plus que s'ils garnissaient convenablement.

La *pose des moellons piqués* demande plus de soins que celle des moellons bruts. Elle se fait ordinairement sur du mortier de chaux ou de plâtre très-fin; l'épaisseur des joints ne doit pas excéder 0m,01; les moellons doivent être choisis tous de même hauteur pour chaque assise. Quand une assise est posée, on l'arase avec soin en taillant les moellons qui ont une trop grande épaisseur.

TABLEAU des volumes de mortier et de plâtre en poudre employés par mètre de différentes maçonneries de moellons.

MAÇONNERIE.	MORTIER.	PLATRE en poudre.
Maçonnerie de blocage en moellonnaille de forme irrégulière, et dont le volume n'excède pas 0m.c..003.	m. cub. 0,400	m. cub. 0,320
Maçonnerie ordinaire de massifs ou de murs, en moellons, dont les parements sont bruts ou smillés et les lits et joints ébousinés ou équarris	0,320	0,250
Maçonnerie de moellons smillés ou d'appareils, pour parements de murs, voûtes, etc.	0,250	0,200

615. *Maçonnerie de meulière.* Pour parements, la meulière s'emploie en moellons smillés et quelquefois piqués (614). Dans certaines constructions, auxquelles on veut donner un aspect pittoresque, on l'emploie brute ou quelquefois grossièrement smillée, et on rocaille les joints des parements avec de la pierre meulière brûlée et concassée, dont on assujettit les fragments avec du ciment romain auquel on a donné la couleur rouge de la meulière brûlée (568) (*Art de construire*).

TABLEAU des volumes de mortier et de plâtre en poudre nécessaires à la pose d'un mètre cube de maçonnerie de meulière.

DÉSIGNATION DES MAÇONNERIES.	MORTIER.	PLATRE en poudre.
Maçonnerie de blocage ou garni de meulière dont le volume n'excède pas 0m.c.,003.	m. cub. 0,450	m. cub. 0,360
Maçonnerie ordinaire en meulière brute, telle que massifs ou murs dont les parements sont recouverts d'un enduit ou rocaillés.	0,400	0,320
Maçonnerie de meulière piquée ou smillée pour parements de murs, de voûtes, etc.	0,330	0,264

616. *Maçonnerie de briques.* Il faut éviter de briser les briques pour les employer, et on doit les disposer de manière qu'elles se relient le mieux possible entre elles. La fig. 2, planche III, représente leur disposition dans une assise d'un mur dont l'épaisseur est égale à la longueur d'une brique; la fig. 3, planche III, est la disposition à adopter pour une épaisseur d'une brique et demie, et les fig. 4 et 5, même planche, sont des dispositions que l'on peut employer pour des murs de l'épaisseur de deux briques. Dans tous les cas, on a soin de croiser les joints de deux assises consécutives, afin que les briques se re-

ans le sens vertical aussi bien que dans le sens horizontal. Il nt de ne mettre la brique en place qu'après l'avoir plongée dans sans cette précaution, elle absorberait l'eau du mortier ou du Cette précaution doit être aussi prise pour les moellons absor- ;ortis depuis longtemps de la carrière. L'épaisseur des joints de :r ou de plâtre ne doit pas excéder 0m,01 (*Art de construire*).

. *Chaînes en pierre de taille, soubassements et baies de portes isées dans les constructions en moellons.* Ces chaînes peuvent orizontales ou verticales. Dans le premier cas, sans présenter nvénient, elles ont l'avantage de bien relier les petits maté- placés au-dessus et au-dessous. Dans le second cas, elles aug- :nt la solidité et la stabilité aux points où elles se trouvent; elles ont l'inconvénient de produire un gonflement ou un tasse- différent des autres parties de la maçonnerie, ce qui occasionne ézardes quand on n'a pas soin de laisser, comme on le fait à , quand on juge convenable de construire en pierres de taille ıgles des maisons, du jeu entre les moellons et les chaînes en e. Ce jeu permet le gonflement du plâtre qui se cristallise, et ite son retrait, ou le tassement du mortier, mouvements qui proportionnels au nombre des joints et à leur épaisseur. On ne les moellons aux chaînes, et on n'enduit les parements du mur quand le retrait s'est opéré dans toute la masse.

convient qu'un mur en moellons ou en briques soit chaussé e assise en pierre de taille, un peu enterrée et s'élevant au-dessus ol, que l'on nomme *soubassement*. Dans les murs on doit placer erre la plus résistante à la surface du sol.

n moyen efficace d'empêcher l'humidité de s'élever dans les murs le placer une couche de bitume sur la première assise au-dessus a fondation.

es jambages, les linteaux et les appuis des croisées et des portes ont souvent en pierre de taille, surtout dans les constructions en ıues. Il est nécessaire que les pieds droits soient de plusieurs as- s et de pierres d'inégales longueurs, afin qu'ils se relient bien c les petits matériaux qui composent les trumeaux.

es linteaux sont quelquefois formés d'une seule pierre; mais alors aut construire au-dessus une voûte qui reporte le poids de la ma- ınerie supérieure sur les pieds-droits. Il vaut mieux construire les teaux au moyen de plusieurs pierres disposées en voûte, dite *plate- ıde*, que l'on doit appareiller avec soin.

)n était dans l'usage, à Paris, pour les maisons construites en ellons, de faire les linteaux en bois; ce qu'il faut éviter, car le bois urrissant, c'est ordinairement par là que les maisons périssent. jourd'hui on fait un usage presque exclusif du fer.

618. *Voûtes d'édifices.* Dans les bâtiments civils, on ne fait ordi-

nairement usage de voûtes que pour les étages souterrains. Elles sont généralement en plein cintre, et on les fait en moellons, à l'exception des pieds-droits des portes de communication d'un berceau à l'autre, lesquels sont généralement en pierre de taille. Les voûtes de caves sont le plus souvent en moellons piqués, ou au moins smillés 611. Les moellons bruts ne présentent pas une solidité suffisante; il faut que les voussoirs soient appareillés, ou au moins taillés de manière qu'étant posés les joints tendent à l'axe; sans cela, la solidité de la voûte ne consisterait que dans l'adhérence du mortier.

Il arrive cependant quelquefois que l'on construit des voûtes pour les pièces du rez-de-chaussée des édifices publics tels que mairies, halles publiques, tribunaux. Lorsque les pièces voûtées doivent servir de lieu de réunion, on adopte le plein cintre, et il est rare alors qu'on les exécute en pierre de taille; pour réduire la dépense, on les fait le plus souvent en moellons, en briques ou en poterie. Quant aux voûtes d'arêtes, comme toute la poussée se reporte sur les pieds-droits et que les voussoirs inférieurs ont à résister à un effort considérable, on est obligé de les construire en pierre de taille.

Pour les voûtes en petits matériaux, il faut employer le meilleur mortier ou plâtre possible, afin que, reliant entre elles toutes les parties, la voûte et les points d'appui exigent une moindre épaisseur. C'est pour les mêmes raisons que l'on doit employer, surtout pour les voûtes exécutées hors du sol, les moellons de la plus faible densité, ou mieux la brique, qui fait parfaitement corps avec le plâtre ou le mortier, ou mieux encore la brique creuse ou la poterie, lesquelles, ayant la même adhérence que la brique, sont beaucoup plus légères (580).

Pour les voûtes, comme pour les murs en élévation, les moellons doivent être disposés par cours d'assise, de manière à faire croiser les joints de deux assises voisines, et de telle sorte que dans une même assise les moellons formant boutisse soient placés entre deux carreaux (609). Si la voûte a une épaisseur de plusieurs moellons, le second rang de moellons doit se relier avec le premier.

On monte les deux côtés de la voûte à la fois, afin que leur poussée se fasse équilibre sur le cintre et ne le détruise pas, et que de plus le mortier prenant la même consistance des deux côtés, le tassement soit égal. On ne place les planches du cintre qu'au fur et à mesure que l'on élève la voûte, afin que l'ouvrier ait l'ouvrage devant lui et de plus placé à une hauteur convenable pour sa facile exécution.

Quand il ne reste plus que trois assises à poser, on commence à bander et à fermer la voûte par l'une de ses extrémités. On pose de part et d'autre deux ou trois moellons aussi longs que possible que l'on appuie sur le cintre; une fois en place, on les affermit à coups

ırteau sur un bourrelet de mortier soufflant; on recouvre leur e mortier, et on introduit alors la clef, bien taillée d'avance en · de voussoir, dans le vide laissé entre les moellons que l'on de poser; on l'enfonce en la frappant avec une *dame* du poids à 20 kilog., jusqu'à ce qu'elle s'appuie sur le cintre. Il est évique l'on doit prendre les plus beaux et les meilleurs moellons former les dernières assises de voussoirs, et surtout la clef. rsque ces premiers moellons sont bien assurés et que le mortier le de toutes parts, on introduit dans les joints, à coups de mardes éclats de pierre dure. Cette première clef étant bien banon continue à fermer la voûte en opérant de même et en allant ulons.

s voûtes en briques peuvent se construire de la même manière celles en moellons, en leur faisant former voussoir sur leur sseur, et en les plaçant en carreaux et boutisses si l'épaisseur de oûte est suffisante. Dans ce cas, on peut les relier avec du plâtre u mortier, en ayant soin de garnir les joints à l'extrados avec clats d'ardoise ou de pierre mince, à moins cependant que les ues n'aient la forme de voussoirs.

uelquefois les briques sont simplement posées à plat sur le cintre, ors reliées par du plâtre ou du ciment romain; on emploie ce cédé pour faire des voûtes minces et plates. On prépare, dans les s qui doivent porter la voûte, des coussinets dans lesquels la le vient s'engager et s'appuyer. Ces voûtes sont le plus souvent nées de plusieurs épaisseurs de briques.

our les voûtes en briques, il faut prendre la précaution indiquée 16, qui consiste à tremper les briques dans l'eau avant de les tre en contact avec le plâtre, sans quoi elles absorbent l'eau qui rvi à gâcher celui-ci, qui alors ne contient plus la quantité d'eau isante à sa cristallisation.

n ne doit jamais fermer la voûte à la clef avant que le plâtre ait tout son effet, sans quoi le gonflement du plâtre dérangerait les ls-droits de leur aplomb.

n doit commencer les voûtes en arc de cloître par la clef, et aller s'avançant vers les naissances, sans cette précaution on aurait u laisser du jour à la clef, comme les quatre parties de la voûte ontre-butent mutuellement entre elles, la poussée due au gonflet du plâtre se transmettrait toujours sur les pieds-droits.

19. *Fondations.* Lorsque le sol est formé jusqu'à une certaine fondeur de terres végétales qui ont été remuées, ou de matières portées, comme il n'offre pas assez de résistance pour supporter s affaissement les constructions à ériger, on est obligé de le déer, et de descendre la fouille jusqu'à ce que l'on ait atteint une che de terrain qui présente une compacité et une résistance suffi-

santes. Il arrive souvent que la couche solide se trouve à une profondeur telle, que l'on doit renoncer à l'atteindre par les fouilles et y asseoir directement les fondations; alors on a recours à des moyens auxiliaires pour donner au terrain qui la surmonte la solidité requise. Ces moyens varient selon la nature du sol, nature que l'on détermine, soit par des sondages, soit en creusant des puits.

Malgré le grand nombre de nuances sous lesquelles les terrains se distinguent, si on les considère sous le rapport du plus ou moins de résistance qu'ils peuvent offrir pour les fondations, on peut les diviser en trois classes principales.

La première classe renferme les terrains les plus favorables, sur lesquels on peut établir directement les fondations; tels sont les diverses espèces de rocs, les tufs, les marnes et les terrains pierreux qu'on ne peut attaquer qu'à la mine ou au pic.

La deuxième classe comprend tous les terrains graveleux et sablonneux, qui ont la propriété d'être incompressibles lorsqu'ils sont encaissés.

La troisième classe est formée de tous les terrains qui présentent des difficultés plus ou moins grandes, lorsqu'il s'agit de les consolider et de leur donner une résistance uniforme suffisante dans toute l'étendue des fondations. Les terrains mouvants, comme le sont principalement ceux qui sont glaiseux, et les terrains compressibles, tels que ceux qui sont tourbeux ou fraîchement rapportés, appartiennent à cette espèce.

Lorsque les fouilles des fondations sont descendues à une profondeur convenable et ont atteint un terrain suffisamment résistant, après en avoir nivelé et dressé parfaitement le fond, on procède à l'exécution de la maçonnerie de fondation. Si cette maçonnerie est en moellons ou en meulière, l'ouvrier choisit les morceaux les plus gros et les plus résistants, et il commence son travail en en posant une première assise sur un lit de mortier qu'il a étendu sur le fond de la fouille, en les liaisonnant les uns avec les autres et en les frappant avec sa hachette pour les bien affermir et imprégner de mortier.

Quoique la maçonnerie des fondations soit cachée, on doit avec plus de soin encore que pour celle à parements vus, prendre toutes les précautions qui assureront sa solidité. Une mauvaise exécution occasionnerait des effets très-nuisibles à la stabilité de la construction : les murs se fendraient, perdraient leur aplomb, et il se formerait des crevasses dans les voûtes et dans toutes les parties de l'édifice.

Pour que les fondations soient solides et que le tassement soit uniforme dans toutes les parties de la construction, il faut composer chaque assise de matériaux de même hauteur et de même dureté, en plaçant les plus résistants dans le bas. Si quelques matériaux sont tendres et de médiocre qualité, on évite de les employer pour les parties de fondations qui auront à supporter de grandes masses de maçonnerie ou de fortes charges; ils pourraient s'écraser et compromettre la solidité de la construction, sinon en amener la ruine.

rsqu'une fondation repose sur le sol naturel incompressible, il de lui donner de 0m,05 à 0m,10 d'empatement, c'est-à-dire de e, sur chaque face du mur qu'elle doit supporter; cela suffit que l'on soit sûr que la fondation sera pleine sur une épaisseur ioins égale à celle du mur et qu'il n'y aura pas de porte-à-faux, gré le peu de soin que l'on met à bien dresser les parements dans ranchées, et aussi pour que la résistance soit plus grande en on de l'excès de charge que supporte la fondation.

ur des *piliers isolés supportant de fortes charges*, l'empatement édent 0m,05 à 0m,10 de la fondation sur tout le pourtour de chaque r est insuffisant; on est obligé de les fonder sur un mur continu truit comme pour le mur que remplacent ces piliers. Souvent ie, afin de répartir la pression des piliers sur toute la longueur iur de fondation, on dispose ce mur en voûtes renversées dont iaissances sont placées sous les socles des divers piliers. Dans iins cas même, lorsqu'il y a plusieurs rangs de piliers, ceux-ci sent sur les naissances de voûtes d'arête renversées qui reporla charge sur toute l'étendue de l'espace qui sépare les piliers. ans toute construction, mais surtout pour des piliers isolés, on placer les pierres les plus résistantes au niveau du sol, jusqu'à profondeur de 0m,15 à 0m,20 (n° 617).

fin que le tassement soit le même dans tous les piliers isolés, on construit du même nombre d'assises, on donne la même épais- aux joints, et on taille les lits pleins et bien perpendiculaires ixe.

ans un but d'économie, quand on est obligé de descendre à une ide profondeur pour trouver le sol résistant, les fondations peu- être composées d'une série de piliers convenablement espacés et s à leur sommet par des voûtes en plein cintre ou en arc de le, sur lesquelles on érige la construction.

our les constructions de quelque importance, on était dans l'usage ommencer les fondations par une ou plusieurs assises de libages , mais depuis quelque temps on y a substitué le béton, qui ne e qu'environ le quart des bons libages; on donne à la couche de n de 0m,30 à 0m,80 d'épaisseur, avec une saillie sur les parements a fondation.

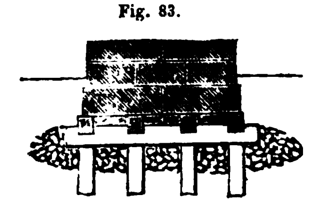
s fondations en béton doivent être exécutées par couches horiales. Afin que les parties faites un jour se raccordent bien avec s qui se posent le lendemain, on termine leurs extrémités par ns inclinés, et lorsqu'on recommence, avant de placer du nou- béton, on applique une couche de mortier frais sur tout le béton la veille et déjà raffermi (603).

le sol incompressible est situé sous l'eau ou sous des couches comribles à des profondeurs si grandes que l'on ne puisse le mettre à

découvert sans des dépenses trop considérables, on a recours à l'un des *moyens suivants* :

1° *Fondations sur pilotis*, fig. 83. Ce moyen consiste à enfoncer dans toute l'étendue des fondations des pieux espacés de 0m,80 à 1m,20 d'axe en axe, selon la charge qu'ils doivent supporter et suivant leur diamètre, qui est en général le 1/24 de leur longueur sans avoir moins de 0m,18. Ces pieux battus au refus peuvent supporter jusqu'à 50 kilog. par centimètre carré de section (127 et 234).

Fig. 83.



Les pieux étant enfoncés en quinconce, on les recèpe tous de niveau à une hauteur convenable, on enlève entre eux la terre ameublie par le battage, et on la remplace par un blocage en pierres sèches si l'on opère à sec, ou par du béton ou de la maçonnerie à mortier hydraulique dans le cas contraire. On a soin de comprimer fortement ces matériaux à mesure qu'on les pose, afin qu'ils maintiennent bien les têtes des pieux, qu'ils augmentent les frottements latéraux s'opposant à l'enfoncement, et qu'ils ajoutent le plus possible à la rigidité du système.

On pose ensuite un grillage en charpente, formé de longrines reliant les files longitudinales de pieux et de traversines s'assemblant à mi-bois sur les longrines. On arase le remplissage au niveau du grillage, et sur le tout on établit une plate-forme en madriers, sur laquelle on élève l'édifice.

Comme la plate-forme unie adhère mal à la maçonnerie, il peut être convenable de la remplacer par une forte couche de béton enveloppant les têtes de pieux, sauf à placer sur ce massif, si on le juge nécessaire, un ou deux rangs de forts libages pour répartir convenablement la pression.

Ce premier mode peut s'employer soit qu'il s'agisse de fonder sur des terrains secs qui ne sont incompressibles qu'à une certaine profondeur, soit qu'il s'agisse de fonder dans l'eau. Les procédés 2° et suivants sont spéciaux à ce dernier cas.

Pieux à vis. MM. Brunel, Cubitt et Stephenson les ont employés avec avantage dans les fondations d'un grand nombre de ponts et viaducs ; dans tous les cas, leur emploi s'est montré sûr, rapide et facile. L'enfoncement de ces pieux, munis à la partie inférieure d'un pas de vis, se produit en appuyant leur pointe sur le sol et en leur imprimant un mouvement de rotation à l'aide d'un cabestan. Ce procédé a été appliqué avec succès à la fondation de plusieurs ponts et viaducs du chemin de fer de l'Ouest.

ondations à l'aide de batardeaux. On nomme batardeaux, des dont on circonscrit l'emplacement de la fondation, afin de r épuiser l'eau, et ensuite établir la fondation sur le sol mis à ı opérant comme il a été indiqué ci-dessus.

ıque la profondeur d'eau ne dépasse pas 1 mètre, le batardeau uniquement en terre, en lui donnant de 0m,80 à 1m,20 d'épaisnoyenne.

eau a une certaine vitesse ou une profondeur de 1 mètre à on enfonce avec le mouton une file de pieux, contre laquelle e des madriers jointifs, et c'est contre ce barrage en charpente, é à défendre la terre, que l'on tasse celle-ci pour terminer le leau. Quelquefois on a remplacé les madriers par des fascines.

ınd la profondeur de l'eau excède 1m,50, le batardeau s'établit e plus solidement. On bat sur deux files parallèles des pieux esde 1 mètre environ; on réunit les pieux de chaque rang par des iers que l'on cloue horizontalement; contre ces madriers on ap des palplanches assemblées entre elles à rainure et languette, et 'on enfonce jusqu'à ce que leur extrémité soit inférieure au sol consistance. Après avoir enlevé la vase entre les deux cloisons formées, on remplit leur intervalle avec de la terre. Des entres reliant entre elles les deux cloisons ajoutent beaucoup à la soé du batardeau.

ı fait encore des batardeaux en maçonnerie hourdée en mortier aulique, et dans plusieurs ports de mer on en a établi en béton.

Pour fonder à de grandes profondeurs, on emploie encore quelquefois un *caisson* en bois que l'on amène sur l'emplacement de la fondation, et sur le fond plat duquel on établit la maçonnerie, fig. 84. Le caisson finit par s'enfoncer jusque près du sol, par suite du poids de la maçonnerie; alors, afin de terminer l'échouage convenablement, on laisse pénétrer l'eau dans le caisson. On enlève ensuite les parois latérales du caisson, qui n'étaient retenues que par des tirants. Il est évident que le sol a dû être à l'avance consolidé par des pieux, si cela était nécessaire, et nivelé.

Fig. 84.

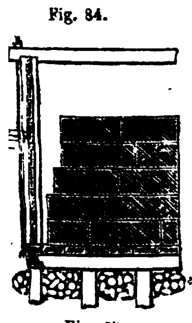
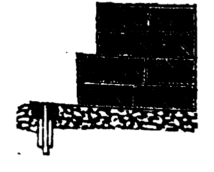


Fig. 85.



4° Le moyen de fonder par *encaissement*, fig. 85, est généralement préféré au précédent à cause de sa simplicité et de son prix modéré. Il consiste à former autour de l'emplacement des fondations une enceinte de pieux et de palplanches; à draguer dans cette enceinte jusqu'à ce que l'on atteigne

un sol suffisamment compressible, et à la remplir de béton, sur lequel on érige ensuite la construction.

Si le fond du lit était un roc dans lequel il y a impossibilité d'enfoncer des pieux, on aurait recours à un caisson sans fond, construit sur le chantier, et dont les parois seraient formées de poteaux montants et de fortes palplanches, le tout maintenu par plusieurs cours d'entretoises horizontales. On amène le caisson sur l'emplacement de la fondation, on le fait échouer en le chargeant convenablement, puis on établit le massif de béton. Par des sondages faits avec soin, on relève le profil du rocher sur tout le contour où doit porter le caisson, dont on taille le mieux possible le bas des parois à la demande des sinuosités du profil.

Dans ces derniers temps, pour fonder à de grandes profondeurs sous l'eau, plusieurs ingénieurs, et entre autres M. Pluyette au pont de Nogent-sur-Marne (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1856), ont fait usage d'un encaissement en tôle. On commence par draguer jusqu'au terrain solide dans tout l'emplacement de la pile; on échoue l'encaissement, et après avoir dragué à l'intérieur, de manière à unir le fond, on coule une couche de béton d'une épaisseur suffisante; quand cette couche est solide, on épuise l'eau, et alors on monte la pile à sec.

Au pont Saint-Michel, à Paris, on a fait avec succès un nouvel emploi d'un caisson sans fond, système de M. Baudemoulin, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Ce caisson, au lieu d'être en tôle, est en bois, ce qui le rend beaucoup plus économique; ainsi pour une arche de 35 mètres, il n'a coûté que 14000 fr. environ, au lieu que celui en tôle de Nogent-sur-Marne est revenu à près de 90000 fr.

Le caisson a, intérieurement aux palplanches, $38^{m},22$ de longueur sur $6^{m},22$ de largeur à la base, et $36^{m},34$ de longueur sur $4^{m},34$ de largeur à la partie supérieure. Sa profondeur est de $4^{m},80$.

Il se compose essentiellement : 1° d'une ossature formée de poteaux montants reliés par trois cours de moises horizontales; 2° d'une cloison en palplanches destinée à retenir le béton.

Les poteaux sont en chêne; ils sont espacés de 2 mètres d'axe en axe, et leur équarrissage est de $0^{m},16$. Les trois cours de moises sont en bois de $0^{m},20$ sur $0^{m},25$, et ils sont légèrement entaillés au droit des montants, auxquels ils sont d'ailleurs reliés par des boulons. Les deux cours inférieurs sont en chêne; mais le cours supérieur, qui a été enlevé après la pose des premières assises de la pile, est en sapin. Les palplanches sont en madriers de sapin de $0^{m},22$ sur $0^{m},08$; elles sont espacées de $0^{m},05$ au moyen de tasseaux cloués sur leurs tranches, et elles sont taillées en coin à leur extrémité inférieure pour faciliter leur pose et leur légère pénétration dans le sol.

Avant la pose des palplanches, on a fixé intérieurement, sur les poteaux, entre les deux cours supérieurs de moises, des planches

tives de $0^m,03$ d'épaisseur, dont on a recouvert les joints par des ges garnies de mousse, pour obtenir dans le haut du caisson un lage étanche. La mousse se fixait d'abord aux voliges avec de la glaise.

caisson, soutenu par quatorze chèvres établies sur quatre aux, a été descendu au fur et à mesure de sa construction. Les aux ont d'abord été assemblés au cours inférieur de moises situé ,80 du bout des poteaux. On a descendu l'ensemble, jusqu'à ce n faisant flotter les madriers du second cours de moises on pût mettre en place. On a alors placé les moises du cours supérieur. cours du milieu est à $1^m,80$ de celui du bas, et à $2^m,20$ de celui du t. Cette opération terminée, on a établi le bordage étanche entre deux cours supérieurs de moises ; puis, en chargeant le caisson moyen de moellons, on l'a fait descendre jusqu'au fond de la ile, qui avait préalablement été faite à la drague jusqu'au sol istant. On a ensuite placé les palplanches ; puis on a établi un ochement tout autour du caisson. Quand l'enrochement a eu en- on 1 mètre de hauteur, on l'a continué en utilisant les pierres qui ient servi à l'échouage.

On a alors commencé à couler le béton, ce qui se faisait à l'aide de sses demi-cylindriques cubant $0^m,650$. On a élevé le massif de ton, qui remplissait tout le caisson, jusqu'à $0^m,50$ en contre-bas niveau de l'eau ; à l'aide des pompes mues par des locomobiles a épuisé l'eau, puis on a posé le socle en pierre de taille de la pile. socle a $3^m,50$ de largeur, et le pied de la pile $3^m,10$. Quand la çonnerie a dépassé d'une quantité convenable le niveau de l'eau, a enlevé le cours supérieur de moises, puis scié les poteaux et les oises au niveau du béton.

Le caisson dépassait de $1^m,20$ le niveau de l'eau, et il plongeait $3^m.60$.

Mis en place, ce caisson est revenu à environ 14 000 francs. Le bois chêne était compté à raison de 260 francs le mètre cube, et celui sapin à raison de 140 francs. Le prix du mètre carré de bordage lfaté est revenu à 7 francs.

Il convient de faire usage de ce système de caisson toutes les fois le l'épaisseur de la vase ou du gravier mouvant n'est pas trop ande, et que le fond solide ne se trouve pas à plus de 5 ou 6 mètres -dessous du niveau de l'eau. On vient de l'employer au pont au ange.

5° *Fondations tubulaires.* Pour fonder les ponts de la Nouvelle et de vesalte, chemin de fer de Narbonne à Perpignan, on a fait reposer base de la pile ou de la culée sur plusieurs colonnes cylindriques 3 à 4 mètres de diamètre, construites de la manière suivante. Sur mplacement de la fondation, on fait hors de l'eau, en maçonnerie

de briques et ciment, un cuvelage de puits d'un diamètre extérieur égal à celui de la colonne et d'une épaisseur de 0m,50 environ. Ce cuvelage s'établit sur un plancher flottant en bois, et s'immerge par son propre poids. On a soin qu'il s'élève d'un mètre au-dessus de la surface de l'eau, et quand il repose sur le sol, par une disposition particulière, on enlève le fond mobile en bois, et on assujettit le cuvelage verticalement. On drague alors à la main le sable et la vase dans cette espèce de puits, en approchant le plus près possible des murs. Ce puits s'enfonce progressivement à mesure qu'on enlève la terre ; quand il est descendu de 0m,50 à 0m,60, on élève le dessus de ses murs d'une quantité égale ; on drague de nouveau et l'on continue ainsi de suite jusqu'à ce que le pied de la colonne repose sur le sol résistant. On coule alors à l'intérieur une couche de béton de ciment d'environ 1 mètre d'épaisseur, on épuise l'eau et l'on finit de remplir la colonne avec de la maçonnerie. C'est sur ces colonnes, que l'on établit en nombre suffisant, qu'on pose le socle de la construction.

Pour plusieurs ponts, les colonnes tubulaires, au lieu d'être en maçonnerie, comme nous venons de l'indiquer, sont en tôle ou en fonte, et également bétonnées et maçonnées à l'intérieur quand, par le dragage, on les a fait descendre jusqu'au sol résistant.

6° *Fondations tubulaires à l'aide du vide.* Un pieux creux en fonte ou en tôle, ouvert par l'extrémité inférieure et fermé par l'extrémité supérieure, étant placé verticalement sur un sol baigné par l'eau, en y faisant le vide à l'aide d'une pompe à air, l'eau se précipite dans son intérieur en entraînant des parties solides qui se trouvent sous son extrémité, et le pieu s'enfonce graduellement sous l'action de son poids et de la pression atmosphérique sur sa base supérieure. Quand le pieu est rempli d'eau et de débris solides, on le vide, et l'on recommence successivement l'opération jusqu'à ce que le pieu ait atteint le sol résistant. Ce procédé a été employé pour un viaduc de l'île d'Anglesey, chemin de Chester à Holyhead. La maçonnerie d'une des piles est établie sur une plate-forme en fonte supportée par 19 pilotis en fonte de 0m,037 d'épaisseur et de 0m,355 de diamètre extérieur. Quand un pieu était arrivé à la profondeur voulue, on le vidait d'environ 1m,80, et on le remplissait de béton. Ces fondations, exécutées en 1847, n'ont éprouvé aucun tassement, quoique la charge supportée soit de plus de 500 tonnes, y compris le poids des trains. Ce procédé n'est applicable que dans les terrains de vase, de sable, de gravier et d'argile.

7° *Fondations tubulaires à l'aide de l'air comprimé.* Un tube en fonte de 1 à 3 mètres de diamètre, ouvert par le bas et fermé par le haut, reposant sur le sol, on y comprime de l'air qui chasse l'eau du tube. Des ouvriers s'y introduisent alors et, en creusant le sol,

nt progressivement descendre le tube jusqu'au terrain solide. oule alors au fond du tube un lit de mortier de ciment romain, oppose à l'introduction de l'eau, et, ouvrant le tube à la partie ieure, on achève de le remplir avec du béton ordinaire ou de açonnerie. Pour rendre possibles l'entrée et la sortie des ou- s et des matériaux ou des terres, le tube est muni à sa partie rieure d'une chambre, dite *chambre à air* ou d'*extraction*, qui a portes qui la mettent en communication, l'une avec l'air exté- , et l'autre avec l'intérieur du tube. Pour accélérer le travail, garni chaque tube de deux chambres à air.

pont de Rochester, les tubes en fonte, composés d'anneaux onnés entre eux à l'aide de brides intérieures, ont 1 mètre de ètre; il y en a 8 pour chaque pile. Au grand pont de Mâcon, sur ône, les tubes en fonte ont 3 mètres de diamètre, et il n'y en a 3 pour une pile; ils descendent à une profondeur de 15 mètres essous du niveau de l'eau. La dépense a été de 87000 fr. par pile. des profondeurs qui dépassent 25 mètres sous l'eau, la pression air est telle que les ouvriers ne peuvent plus y résister.

Pour le *pont de Kehl*, M. Fleur-Saint-Denis, ingénieur principal hemin de l'Est, a appliqué la méthode précédente, mais en la lifiant pour la rendre à la fois plus expéditive et plus écono- ue. Pour descendre les fondations à 20 mètres de profondeur lessous de l'étiage, ou à 22 mètres environ au-dessous des eaux ennes, dans un sol de gravier indéfini et très-mobile, au lieu ylindres en fonte s'élevant dans toute la hauteur de la fonda- , on a employé d'énormes caissons rectangulaires en tôle, de iètres de longueur (largeur de la fondation), et de 5m,80 de lar- r, juxtaposés l'un à côté de l'autre, au nombre de 4, pour former e la longueur de la fondation.

e couvercle de chaque caisson porte en son milieu une cheminée traction en tôle de 1m,50 de diamètre, ouverte à ses deux extré- ès, s'élevant jusqu'au-dessus de la surface de l'eau, et descendant avers l'intérieur du caisson jusqu'au niveau des bords inférieurs celui-ci. Dans cette cheminée, constamment remplie d'eau, se ut une noria ou drague dont les godets viennent creuser le sol centre du caisson, où des ouvriers poussent le gravier de toute endue du caisson. Sur la largeur de la fondation, chaque caisson te deux autres cheminées en tôle de 1 mètre de diamètre, ou- tes par le bas au niveau du couvercle du caisson, et garnies à r partie supérieure d'une *chambre* ou *écluse à air* pour l'entrée et sortie des ouvriers.

es 4 caissons étant descendus sur le sol, à l'emplacement de la dation, à l'aide d'une pompe on foule de l'air dans les deux che- nées latérales, jusqu'à ce qu'il n'existe plus d'eau ni dans ces che-

minées ni dans les caissons. Les ouvriers descendent alors à leur travail et l'on met les dragues en marche.

Pour la première pile, on a élevé au-dessus des parois latérales des caissons une caisse en bois, dans l'intérieur de laquelle on a coulé du béton au fur et à mesure de la descente du travail. Ce béton formait le corps de la pile autour des cheminées en même temps qu'il chargeait le système et l'obligeait à descendre. Les caissons étaient du reste suspendus à des verrins servant à régler la descente. Arrivé à la profondeur voulue, on a rempli de béton et de maçonnerie les caissons, puis les vides circulaires laissés par les cheminées, que l'on a réemployées pour les autres piles.

Pour les 3 dernières piles, on a supprimé le caisson en bois, on s'est contenté d'élever sur les caissons en tôle, au fur et à mesure de leur descente, un massif continu de maçonnerie parementé en libages ou en moellons smillés; on a aussi supprimé les cheminées centrales en tôle, en se bornant à parementer en briques les parois du puits contenant la drague; enfin on a réuni d'une manière invariable les caissons d'une même pile, et l'on a établi entre eux des communications qui ont facilité beaucoup le travail en permettant aux ouvriers d'aller de l'un dans l'autre selon les besoins du travail.

Le pont de Kehl aura 4 piles sur lesquelles reposeront 3 travées fixes du système américain, c'est-à-dire en treillis, mais en tôle. Chaque culée portera un pont tournant qui ira se raccorder à la partie fixe du tablier reposant sur la pile voisine. Les piles extrêmes sont presque doubles des piles intermédiaires; elles reposent sur 4 caissons en tôle, au lieu que ces dernières sont fondées sur 3 seulement.

La première pile a été fondée en 68 jours, la 2e en 35, la 3e en [illegible] et la 4e en 22, sans aucun accident. Les ouvriers gagnaient 6 fr. par jour.

Pour fonder les deux culées, dans une très-grande excavation faite à l'aide de puissantes machines à draguer, on a fait arriver, en le faisant glisser sur un plan incliné, un caisson en bois de 15 mètres de profondeur et 12 de largeur, que l'on a rempli de béton. Toutes les palplanches ont été battues avec une Nasmith, qui en enfonçait 20 par jour (622).

620. *Fondations sur un sol compressible.* On parvient à donner aux terrains compressibles un certain degré de résistance en y battant des pieux en bois, ou en y enfonçant de distance en distance un pieu en bois que l'on retire pour remplir l'alvéole qu'il laisse avec du mortier ou du béton que l'on pilonne fortement au fur et à mesure de leur pose. On fait autant de ces pieux en béton que cela est nécessaire pour rendre le sol résistant, puis on recouvre ce sol d'une couche de béton bien pilonné. Lorsque le sol est constamment sec, on peut à la rigueur substituer le sable au mortier ou béton.

ète du pieu doit être garnie d'une frette en fer pour résister
ocs du mouton, et percée d'un trou dans lequel on passe une
ou une barre de fer, qui sert, pendant le battage, à remuer et
r le pieu au fur et à mesure qu'on l'enfonce, de manière à
es parois de l'alvéole et à leur donner une certaine consistance
rmet la pose du béton sans qu'elles s'éboulent; ce mouvement
né au pieu le rend facile à retirer quand il est entièrement
:é.

espace occupé par la fondation était très-grand, on pourrait,
avoir consolidé le sol au moyen de pieux en béton, le couvrir
assif de sable de 0m,60 à 0m,80 d'épaisseur, que l'on forme par
es successives de 0m,15 à 0m20, parfaitement pilonnées et mouil-
un lait de chaux très-épais; ce massif, que l'on couvre égale-
l'une couche de béton bien pilonné, est incompressible, et offre
tage de répartir uniformément la charge sur toute l'étendue de
dation.

:inaux. On nomme ainsi des pièces de charpente méplates, de
sur 0m,12, que l'on place bien de niveau sur le sol compressible,
· lesquelles on fixe avec des chevillettes une plate-forme en
iers de chêne de 0m,085 d'épaisseur. Avant de placer cette plate-
:, on a soin de remplir l'intervalle des racinaux avec du béton
'ec des moellonnailles posées à bain de mortier. C'est sur la
-forme que l'on établit la fondation.

conçoit que sur un sol consolidé par des pieux en bois ou en
on peut encore faire usage d'une plate-forme en bois pour bien
'tir la pression ; mais le plus souvent on emploie une couche de
assez forte pour qu'elle ne puisse se briser.

and le *sol* est *très-compressible*, on commence par lui donner un
in degré de solidité, soit en le chargeant de pierres qui s'y en-
:nt, soit en y faisant entrer des pieux par le gros bout, afin que
ticité du terrain ne les soulève pas, soit encore en combinant
eux moyens, c'est-à-dire en enfonçant des pierres entre les pieux.
e sol ainsi préparé, on pose ensuite, soit la plate-forme en bois,
a couche de béton si l'on ne craint pas sa rupture.

1. *Les fondations sur des sols argileux détrempés par des eaux*
celles qui offrent le plus de difficultés. En vertu de leur viscosité
leur élasticité, ces terrains se comportent à peu près comme des
des. Ils transmettent la pression en tous sens; ils s'affaissent in-
:ment pour peu qu'ils ne soient pas chargés uniformément ; les
is n'y adhèrent pas et tendent à sortir quand on bat les voisins.
ut, pour construire avec quelque sécurité sur un terrain de cette
re, avoir recours à des plates-formes d'une grande étendue, à de
:s empatements, répartir les pressions avec une grande uni-
ité, même pendant l'exécution du travail, et souvent charger par

des remblais provisoires les abords de la construction. Il est même prudent, avant d'élever les parties supérieures de l'édifice, de charger les massifs inférieurs, pendant plusieurs mois, d'un poids au moins égal à celui qu'ils auront à supporter plus tard.

Les difficultés sont plus grandes encore lorsque ces terrains sont noyés. On est obligé alors d'avoir recours à la fois aux moyens de fonder sous l'eau, et à ceux relatifs aux terrains compressibles.

622. Au Pont-au-Change, on a fait le *battage des pieux à la vapeur*. La sonnette et la locomobile étaient sur un même bateau, ce qui rendait le déplacement de leur ensemble très-facile pour battre successivement les pieux. Le mouton pesait 1100 kilog.; une locomobile de la force de 6 chevaux le commandait à l'aide d'une courroie, et il donnait de 7 à 8 coups par minute. La même machine a battu presque tous les pieux des cintres, dont le nombre total était de 300 pour les 3 arches. Ces pieux avaient $0^m,35$ sur $0^m,35$ d'équarrissage, et $3^m,50$ de fiche moyenne.

Une sonnette à déclic ordinaire, dont le mouton pesait 500 kilog., ayant été employée concurremment avec la sonnette à vapeur, les nombres de pieux enfoncés par les deux machines ont été entre eux dans le rapport de 1 à 3,5; le nombre des hommes employés à la manœuvre a été le même, et le battage à la vapeur, tout en procurant une très-grande économie de temps, a encore, paraît-il, été avantageux sous le rapport de l'argent (127 et 619).

623. *Enrochements*. Pour fonder des piles de ponts, des jetées et autres ouvrages analogues, sur des fonds mobiles soumis à l'action de grands courants, ou à de grandes profondeurs d'eau, on fait un *enrochement*, c'est-à-dire un massif de maçonnerie en pierre sèche, établi en jetant simplement, sans aucun apprêt, les pierres dans l'eau. On construit en général des enrochements tout autour des fondations exposées à de grands courants, pour les préserver des affouillements. Les matériaux employés à ce genre de construction doivent être durs, de bonne qualité, et de diverses grosseurs, afin que quand on les jette, ils s'enchevêtrent le mieux possible les uns dans les autres.

Les plus petits blocs doivent être jetés sur le fond du lit de fondation; ainsi, pour la construction d'une jetée, par exemple, la première couche est formée de blocs naturels cubant de $0^{m},030$ à $0^{m},040$; la seconde, de blocs de $0^{mc},035$ à $0^{mc},055$; la troisième de blocs de $0^{mc},500$ à $1^{mc},500$, et on termine ordinairement par une couche de blocs artificiels en maçonnerie de béton ou de moellons, et dont le volume varie de 5 à 15 mètres cubes. Pour les enrochements en rivières, les plus petits blocs cubent ordinairement $0^m,040$, et les plus gros $0^m,100$.

624. *Mise en œuvre du béton* (603). Lorsque le béton est employé

e l'eau pour faire des massifs de fondations, des blocs artificiels res travaux hors de l'eau ou dans des enceintes asséchées, on le .irectement avec la griffe et la pelle dans la caisse ou dans l'en- qui doit le contenir, ou bien on le transporte et on le verse avec ıette, le camion, le wagonet, et parfois avec l'oiseau, sur la place ıoit occuper, en ayant soin de le régaler par couches horizon- le $0^m,20$ à $0^m,25$ d'épaisseur, afin de rapprocher les cailloux qui nt toujours à s'écarter lorsqu'on jette le béton; par cette pré- ɔn, on rend au béton son homogénéité, ce qui est surtout es- l lorsqu'il doit être imperméable. De plus, on a soin de ıer les couches, au fur et à mesure qu'on les pose, avec des ; en fonte ou en bois, afin de faire prendre aux cailloux les ons les plus favorables, et de remplir les vides en répartissant ·mément le mortier dans toute la masse.

ınd on est obligé d'interrompre des couches de béton, on les ter- toujours par redans inclinés, afin que les parties interrompues ur se raccordent bien avec celles qui se feront les jours suivants. ıu'on veut continuer une couche interrompue, qui a eu le ; de sécher, on nettoie parfaitement la surface du redan, et on que dessus une couche de mortier frais, sur laquelle on pose le eau béton. On prend également cette précaution pour raccorder couche, qui a eu le temps de sécher, avec celle que l'on vient ·r dessus.

'mmersion du béton en eau profonde présente généralement de difficultés et demande plus de soin que son emploi à sec. des profondeurs d'eau qui ne dépassent pas $1^m,50$ à 2 mètres, .lopte généralement le *coulage au talus*, qui consiste à descendre ɔrd, au moyen d'une coulotte ou d'une caisse en planches, une ıine quantité de béton pour former le talus naturel, qu'on fait ite avancer progressivement, en posant le béton hors de l'eau à rête de ce talus, comme s'il s'agissait d'un remblai. De temps tre on facilite le glissement au moyen de la pelle; il convient ıe de tasser la masse avec la dame plate, à mesure de l'avance- t du travail. Le béton chasse devant lui la laitance, et des riers, armés de raclettes en tôle et de larges balais en bouleau, des mouvements doux, nettoient le sol des fondations, au pied ɔéton, en entraînant la laitance et les vases dans des trous, d'où es extrait avec la drague à main ou avec des pompes. De plus, à ıue reprise du travail, des hommes, munis de larges balais en le, nettoient, sans agiter l'eau, la surface du béton précédemment é. Enfin, chaque fois que le béton doit rester exposé sans revête- ıt à l'action des eaux, on a soin de dresser, comprimer et lisser, noyen d'un rouleau en fonte ou en pierre, la couche supérieure nassif.

en fer ou en cuivre, fixé à l'une des extrémités de la ficelle, une plaquette carrée en tôle ou en cuivre, dont le côté est égal au grand diamètre du tronc de cône, porte en son milieu un trou dans lequel passe librement la ficelle. De ces dispositions, il résulte que le maçon, appliquant une arête de la plaquette contre le parement du mur, le tronc de cône, qu'il a convenablement éloigné de la plaquette, sera tangent au parement du mur, si celui-ci est d'aplomb; il en sera éloigné si le mur surplombe, et il portera dessus s'il a du fruit;

6° De deux *règles* en bois de 2 mètres de longueur, dont une plate de $0^m,10$ sur $0^m,03$ et une carrée de $0^m,04$ de côté, que le maçon emploie pour battre les nus, faire les arêtes, etc. Six *chevillettes* à crochet en fer rond, de $0^m,30$ environ de longueur, lui servent à fixer les règles sur place;

7° D'un *niveau de maçon*. Rectangle formé par quatre règles en bois, au milieu d'un des grands côtés duquel est fixé un petit fil à plomb. Après avoir fait reposer la base de l'équerre sur le lit d'une pierre, si le fil correspond à une marque faite au milieu de cette base, c'est que le lit est horizontal. Pour vérifier si une surface d'une certaine étendue ou deux petites surfaces éloignées sont de niveau, le maçon applique une règle sur ces surfaces, et c'est sur la règle, qui doit avoir une égale largeur dans toute sa longueur, qu'il applique son équerre. Le *niveau de poseur* est triangulaire, et le fil à plomb est suspendu à l'un des sommets;

8° D'un *oiseau* pour transporter du mortier. Il est formé de deux planches clouées à angle droit, sous l'une desquelles se trouvent deux branches de $0^m,50$ environ de longueur que l'ouvrier met à califourchon sur ses épaules. Pour descendre le mortier dans les fondations, on établit une espèce d'auge formée de deux planches clouées à angle droit, allant du bord supérieur de la fouille jusque sur le massif que l'on établit. Le porteur de mortier versant l'oiseau à la partie supérieure de l'auge, celle-ci amène le mortier au point où il doit être employé.

Pour le plâtre, on ne fait pas usage de l'oiseau; le maçon a deux auges (1°), et pendant qu'il emploie le plâtre qui est dans l'une, le garçon place dans l'autre le plâtre et la quantité d'eau convenable, sans agiter le mélange, et il l'apporte en la plaçant sur sa tête, au maçon qui seulement agite bien le plâtre dans l'eau (582);

9° D'une *taloche*. Petite planchette rectangulaire en bois léger, sur l'une des faces de laquelle se trouve une poignée également en bois; elle sert à appliquer le plâtre contre les parois des murs et contre les lattes des plafonds, et à l'y maintenir jusqu'à ce qu'il ait pris assez de consistance pour y rester adhérent;

10° D'une *truelle brettée*. C'est une plaque d'acier rectangulaire, portant un manche perpendiculaire à son plan; un des grands côtés de la plaque est denté et sert à dresser les surfaces, l'autre est uni et se passe sur le plâtre après le côté denté;

11° D'un *riflard*. Ciseau de $0^m,06$ de largeur, avec manche en bois; il sert à dégager les repères et les nus, à dégager les cueillies d'angle, etc.;

12° D'un *guillaume*. C'est une espèce de rabot en bois dur taillé en biseau et garni d'une lame d'acier à l'une de ses extrémités, et évidé de manière à former une poignée vers l'autre extrémité. Le guillaume sert à dresser et à prolonger les arêtes, et à couper les moulures;

13° Enfin d'une série de petits outils en acier, tels que *gouges*, *petits fers*, *grattoirs*, *équerres*, *compas*, *petits guillaumes*, etc., employés pour faire les retours des corniches, les chapiteaux et et tous les travaux de moulures, où l'on ne peut faire glisser le calibre.

PANS DE BOIS ET CLOISONS.

16. *Pans de bois et cloisons.* Dans les localités où la pierre et la uc sont coûteuses, on les remplace par le bois pour les façades aisons sur les cours, pour les petites ailes de peu d'importance, rtout pour les murs de refend. Les murs de face sur la rue, et murs mitoyens, qui contiennent ordinairement les cheminées, ent être en maçonnerie.

inéralement les cloisons sont construites pour bien distribuer ppartements; elles sont d'un prix modéré et chargent peu les chers ; celles que l'on emploie le plus à Paris sont :

Les cloisons légères en menuiserie à claire voie, lattées, hour- et ravalées en plâtre des deux côtés ;

Celles en planches jointives, lattées et recouvertes d'un crépi un enduit en plâtre de chaque côté ;

Les cloisons en carreaux de plâtre pleins ou creux ;

Celles en briques de champ, ou de $0^m,055$ d'épaisseur, et celles riques à plat, ou de $0^m,11$ d'épaisseur, l'une et l'autre rejoin- ées ou ravalées en plâtre.

n raison du peu d'épaisseur des pans de bois et de leur faible ds, on conçoit qu'ils n'ont aucune stabilité par eux-mêmes (529), u'ils ne se soutiennent que parce qu'ils sont maintenus par les rs, pans de bois ou cloisons en retour, ou encore par les combles lanchers.

ans les pays où le bois est très-abondant, comme en Russie, les s de bois sont formés de pièces jointives horizontales qui s'as- blent à mi-bois dans celles qui composent les pans perpendicu- es. On conçoit qu'en raison de la grande quantité de bois qu'en- ne cette disposition, on doit y renoncer dans les pays où le bois ne certaine valeur; alors on forme les pans de bois et les cloisons c des poteaux verticaux non jointifs, s'assemblant dans des pièces izontales.

a disposition la plus généralement adoptée pour les pans de bois loisons est celle indiquée fig. 6, pl. III, en laissant entre les pièces vides égaux aux pleins. Quand toute la charpente d'un pan de s est montée, on remplit les vides avec de la maçonnerie de pe- moellons, de briques ou le plus souvent de plâtras (débris, plus moins gros, de plafonds, de pans de bois ou de toute autre con- ction); faire ce remplissage s'appelle *hourder*. Pour des construc- ns de peu d'importance, les vides laissés entre les pièces de bois t beaucoup plus grands que les pleins. On fait des cloisons vides, s hourder; on les construit ainsi quand elles sont en porte-à-faux des planchers.

Un pan de bois de trois étages, hourdé plein et ravalé sur les deux faces aurait une épaisseur de 0^{m},216, et une stabilité (poids multiplié par la demi-épaisseur (529)) seulement égale au 1/7 de celle du même mur de face en moellons ou en briques, qui devrait avoir 0^{m},43 d'épaisseur.

Ce n'est qu'en reliant les pans de bois aux murs mitoyens, aux pans de bois transversaux et aux planchers, à l'aide de tenons ou harpons en fer, qu'on peut leur donner une stabilité convenable.

Non-seulement les pans de bois sont moins durables que les murs, mais ils sont aussi plus coûteux dans beaucoup de localités.

Les murs sont généralement préférés aux pans de bois toutes les fois que l'espace le permet.

Noms des différentes pièces qui composent un pan de bois, fig. 6, pl. III.

aaa — *sablières*, pièces dans lesquelles toutes les pièces verticales s'assemblent à tenons et mortaises;

a' a' — *sablières de chambrée ;*

a'' — sablière prenant le nom de *poitrail*, quand, comme dans la figure, elle surmonte une large ouverture;

bb — *poteaux corniers*. Ils sont plus forts que les autres;

ccc — *poteaux d'huisserie*. L'ensemble des poteaux d'huisserie et du linteau, pièce horizontale qui couronne une porte ou une croisée, se nomme l'huisserie de la porte ou de la croisée;

ddd — poteaux de *remplage*, c'est-à-dire de remplissage; ils sont ordinairement plus petits que les poteaux d'huisserie et surtout que les poteaux corniers;

eee — *guettes*, pièces de bois faisant un angle de plus de 60 degrés avec les sablières: on les incline en sens inverse, afin d'obvier aux inconvénients qui résultent du relâchement des assemblages par suite de la dessiccation des bois;

fff — *décharges*. On nomme ainsi les pièces dont l'inclinaison sur les sablières ne dépasse pas 60 degrés; elles sont destinées non-seulement à obvier au relâchement des assemblages, mais aussi à reporter sur les poteaux d'huisserie le poids des trumeaux qui se trouvent au-dessus d'un grand vide, de manière à soulager le *poitrail* qui couronne cette ouverture; ce qui est surtout nécessaire quand le pan de bois porte plancher;

Les guettes et les décharges s'assemblent à *tenons en about* dans les pièces horizontales auxquelles elles aboutissent, c'est-à-dire que les tenons et leurs épaulements sont coupés à peu près en retour d'équerre du côté de l'angle aigu, de manière à ce qu'ils pénètrent à angle droit dans les pièces qui les reçoivent.

Quelquefois, afin de donner plus de solidité aux trumeaux d'encoignure, on remplace les simples guettes ou décharges par des croix de Saint-André, formées par des pièces qui s'assemblent à mi-bois au point où elles se rencontrent, et à tenons en about dans les sablières.

ggg — *tournisses*, pièces de bois assemblées à tenons et mortaises dans les sablières et dans les guettes ou décharges. Quelquefois on se contente de couper les tournisses obliquement, à la demande des guettes ou décharges, sans faire de tenons; on les arrête seulement avec de grands clous, appelés *dents de loup*, ou avec des chevillettes; afin de ne pas fendre les tournisses, on prépare les trous des clous ou des chevillettes à l'aide d'une vrille;

hhh — *potelets*, petits poteaux garnissant le dessus des linteaux et le dessous des appuis des croisées;

bouts des solives des planchers; lorsque les solives sont posées sur des cloisons, elles ne sont pas apparentes sur la façade.

ns avons donné au n° 529 une règle pour déterminer l'épaisseur pan de bois ; cette épaisseur, pour un pan de bois élevé de 3 à ges, est ordinairement de 0m,20 à 0m,25. Les poteaux corniers le 0m,25 à 0m,27 d'équarrissage; cet équarrissage est le même les poteaux formant les pieds-droits d'une grande ouverture, et le des trumeaux dits d'*étriers*. Les sablières ont de 0m,216 à , et les pièces de remplissage, poteaux, tournisses, potelets, tes, décharges, croix de Saint-André, ont de 0m,162 à 0m.19.

poitrail de devanture de boutique ou de porte-cochère doit, u'il supporte un pan de bois, avoir une dimension verticale au 1/12 environ de la largeur de l'ouverture qu'il couronne (242).

rsque les cloisons intérieures portent planchers, les poteaux lomb doivent avoir une épaisseur égale au 1/12 de leur hauteur. décharges et les sablières ont une largeur et une épaisseur plus s de 0m,027 environ. Les cloisons de simple séparation n'ayant besoin de monter de fond, il suffit que leurs dimensions soient tié des précédentes; souvent même, afin de les rendre plus lé-s, au lieu de les hourder pleines, on les laisse creuses, et on e seulement un enduit sur des lattes clouées l'une à côté de tre sur les poteaux. Afin de diminuer les chances de flexion des aux de ces cloisons creuses, quand ils ont une certaine hauteur, es réunit en leur milieu et en d'autres points, si cela est néces-e, par des liernes horizontales.

ne cloison de séparation doit pouvoir être posée d'une manière lconque sur le plancher de la pièce que l'on sépare; mais lors-n est obligé de la poser dans le sens de la longueur des solives supportent le plancher, afin de soulager la solive qui se trouve lessous, et qui en supporte le poids, on place des décharges qui rtent une partie de ce poids sur les extrémités de la solive, sinon le mur. C'est encore dans le but de soulager la solive travail-e, que l'on met quelquefois dans l'intérieur de la cloison des nts qui embrassent la solive et vont s'attacher sur les décharges.

e tableau suivant, extrait du *Traité de l'art de la charpenterie*, M. Émy, contient les grosseurs que les praticiens donnent le plus mmunément au rez-de-chaussée, aux pièces qu'ils emploient dans pans de bois de 3m,25, à 3m,90 sous planchers, pour les bâtisses rois étages. Les pans de bois se montent d'aplomb à l'intérieur; s à l'extérieur ils ont un fruit de quelques lignes par étage, ce diminue en conséquence l'équarrissage des pièces des parties érieures des pans de bois.

Pans de bois des façades (de 3m.90). . . . . . . *Épaisseur.*	0m.217 à	0m.244
Poteaux corniers et poteaux de fond. . . *Équarrissage.*	0 .244	0 .271
Poteaux d'étrière.	0 .217	0 .244
Sablières hautes et basses.	0 .217	0 .244
Poteaux d'huisserie.	0 .189	0 .217
Poteaux de remplage.	0 .162	0 .217
Écartement des poteaux de remplage.	0 .271	0 .325
Guettes, décharges, croix de Saint-André.	0 .162	0 .217
Tournisses et potelets.	0 .135	0 .217
Pans de bois intérieurs ou cloisons — de 3m.90. . *Épaisseur.*	»	0 .162
Pans de bois intérieurs ou cloisons — au-dessus de 3m.90. . .	»	0 .189
Poteaux — portant plancher. . . . . *Équarrissage.*	0 .135	0 .162
Poteaux — ne portant pas plancher.	0 .108	0 .135
Cloisons de refend ou en porte-à-faux.	0 .081	0 .135

Toutes les pièces qui composent un pan de bois ou une cloison en charpente doivent être assemblées entre elles à tenons et mortaises entrés de force et chevillés.

Afin de garantir les bois de l'humidité, on établit les pans de bois et les cloisons sur des soubassements en moellons ou en pierre de taille, s'élevant au moins à 0m,60 au-dessus du sol.

Une fois la charpente d'un pan de bois établie, on procède au remplissage. Pour cela, on cloue sur une de ses faces des lattes éloignées entre elles de 0m,06 à 0m,11 ; on garnit l'intervalle entre les poteaux de plâtras hourdés grossièrement avec du plâtre, et on place un lattis du côté ou le *hourdis* a été fait, comme sur l'autre face. Cette opération faite, après avoir nettoyé la poussière et arrosé le hourdis, on procède au *gobetage*, qui consiste à appliquer du plâtre liquide sur le lattis, avec un balai ou avec la main. Une fois le gobetage sec, on applique le *crépi*, qui se fait avec du plâtre gâché plus serré ; ce crépi se jette à la main et s'étend avec le côté de la truelle, afin que la surface restant raboteuse, l'*enduit* ou troisième couche y adhère mieux.

Le crépi se fait avec du plâtre écrasé passé au panier, au lieu que l'enduit se fait avec du plâtre fin passé au tamis de crin (582).

Afin d'obtenir des surfaces bien planes, on fixe deux règles sur le gobetage, après les avoir plombées avec soin, et au moyen d'une règle mobile qu'on traîne sur les deux règles fixes, qui doivent affleurer l'enduit, on arrive à rendre ce dernier parfaitement plan. L'enduit s'étend avec le dos de la truelle ou la *taloche* ; mais comme malgré tous les soins que l'on peut prendre, il est impossible d'obtenir une surface plane bien unie, on arrive à ce résultat au moyen de la truelle brettée (625).

On fait quelquefois des cloisons creuses, c'est-à-dire qu'on supprime le hourdis entre les pièces de bois qui forment la charpente

ıs ce cas, le lattis doit être jointif, et on applique successivement sus, le gobetage, le crépi et l'enduit, comme dans le cas préent.

PLANCHERS.

:27. *Planchers.* Ce sont les séparations des étages d'un édifice; se composent de trois parties principales : le plafond, la charıte et le carrelage ou parquet.

.a fig. 7, pl. III, représente en plan la manière dont on dispose différentes pièces d'une charpente de plancher (544).

solives. Leurs extrémités reposent sur des murs, des pans de bois, des cloisons, et quelquefois, dans les anciennes constructions, sur de fortes poutres;
solives d'enchevêtrure; elles peuvent reposer comme les précédentes;
solives d'enchevêtrure boiteuses; une de leurs extrémités repose comme pour les précédentes, mais l'autre est assemblée à tenon et mortaise dans un chevêtre ou un linçoir;
chevêtres. Leurs extrémités sont assemblées dans les solives d'enchevêtrure; quelquefois une seule extrémité est ainsi assemblée, l'autre repose sur le mur. Ils supportent les extrémités des solives de remplissage. On en fait usage non-seulement quand on manque de solives d'une longueur suffisante, mais aussi pour laisser vide l'espace occupé par une cheminée ou un escalier.
faux chevêtres. Ce sont des chevêtres placés derrière d'autres, pour remplir l'espace entre un vrai chevêtre et le mur;
linçoir. Pièce de bois dans laquelle on assemble les solives qui correspondent aux fenêtres et portes des murs de face, ou aux tuyaux de cheminées des murs de refend. On appelle aussi *linçoir*, une pièce de peu de longueur, telle que la pièce *g*, qui s'assemble dans un chevêtre à une extrémité, repose sur le mur par l'autre, et qui reçoit l'assemblage d'un faux chevêtre. On appelle encore *linçoir*, la pièce qui reçoit les abouts des chevrons d'une charpente, en face d'une lucarne ou d'un tuyau de cheminée;
soliveaux. Ce sont des petites solives assemblées entre un ou deux chevêtres ou linçoirs, et qui remplissent l'espace libre à côté d'une cheminée ou d'un passage de cheminée;
entretoises;
place d'un âtre;
passage d'un tuyau de cheminée;
passage d'un escalier.

628. *Dimensions des pièces de la charpente des planchers.* Les soıves d'enchevêtrure, en raison du poids considérable qu'elles supportent (elles soutiennent non-seulement les jambages et les âtres es cheminées, à l'aide de bandes de fer formant trémie, mais aussi es chevêtres et les linçoirs), doivent être scellées de 0m,22 à 0m,25 ans les murs. Chacune des dimensions transversales de ces solives loit avoir au moins 0m,027 de plus que les solives ordinaires ou de emplissage.

Les tenons des chevêtres et des linçoirs se renforcent en taillant

en congé un petit pan incliné dans l'angle rentrant de la face [illegible] rieure du tenon, et même, si la longueur de ces pièces atteint à 2 mètres, et qu'elles supportent des solives de remplissage [illegible] certaine longueur, il convient de soulager leurs tenons [illegible] d'étriers en fer qui passent sous leurs extrémités et [illegible] clouer sur les solives d'enchevêtrure. Quand les linçoirs sont [illegible] le long d'un mur, on peut remplacer les étriers par des [illegible] en fer scellés dans le mur.

Au lieu de sceller les solives dans les murs, ce qui [illegible] nient de diviser ces derniers, on les supporte quelquefois par [illegible] pièces de bois appliquées contre les murs, comme l'indique [illegible] la figure 8, planche III. Ces pièces, que l'on appelle *lambourdes* [illegible] scellées par leurs extrémités dans les murs en retour, et [illegible] en différents points de leur longueur par des corbeaux en [illegible] dans les murs qu'elles longent. Quand on veut que les lambourdes jouissent d'une plus grande solidité, on les encastre [illegible] moitié de leur largeur dans les murs qu'elles longent. Lorsque l'assemblage des solives aux lambourdes a besoin d'une grande solidité, on le fait à queue d'aronde à recouvrement, en donnant au recouvrement environ le 1/3 de la dimension verticale de la lambourde, et les 2/3 à la queue d'aronde. Suivant la largeur de la lambourde, en divisant cette largeur en quatre parties égales, la partie le long du mur n'est pas entaillée, la queue d'aronde occupe les deux [illegible] tions du milieu, et l'autre partie porte une entaille de la largeur de la solive. Comme, par ce dernier mode d'assemblage, la lambourde fait saillie au-dessous des solives, on y fixe la corniche du plafond.

La dimension verticale des solives ordinaires étant 1, la dimension des lambourdes serait 1,5 et leur dimension horizontale [illegible] Ainsi pour une pièce de 4^m,55 dans œuvre, les solives ayant [illegible] hauteur, on donnerait aux lambourdes 0^m,285 de hauteur sur [illegible] de largeur.

Lorsque les solives doivent avoir des longueurs trop grandes, on a recours aux poutres. Dans les constructions grossières, on [illegible] simplement les solives sur les poutres, qui alors font saillie de toute leur hauteur sous la face inférieure des solives. Dans le cas où [illegible] veut établir un plafond et cacher les poutres, on est obligé de placer des petites pièces de remplissage en bois au niveau de la face inférieure des poutres, pour y clouer les lattes du plafond. Afin de diminuer l'épaisseur considérable de plancher qu'entraîne cette disposition, il convient d'appliquer contre chaque face latérale de la poutre une lambourde qui effleure sa face inférieure, et de fixer les solives à ces lambourdes, comme il a été indiqué plus haut pour le cas où les lambourdes sont appliquées contre les murs. Les lambourdes sont scellées dans les murs, et soutenues de distance en distance par

·iers communs aux deux lambourdes et mis à cheval sur la . Quelquefois encore la poutre elle-même fait l'office de lam- ; mais, afin que ses faces latérales soient inclinées sans élever ·, on donne, dans toute la longueur de la pièce de bois, un trait incliné à ses faces supérieure et inférieure, et l'on place les ambourdes qui en résultent l'une à côté de l'autre, en les réu- ıt par quelques boulons.

peut encore faire, à l'aide seulement de pièces d'une faible lon- , des planchers d'une grande étendue, en disposant ces pièces ınière qu'elles reposent les unes sur deux murs en des points ıs d'un angle, les autres sur un mur par une extrémité et sur ıièce par l'autre, et les autres sur une pièce par chaque extré- On conçoit que ces charpentes demandent à être faites avec oup de soin, et que le système reposant sur quelques tenons, ut considérer la solidité comme problématique si l'on ne met n étrier en fer à chaque tenon.

ıprès Rondelet, on doit donner à chaque solive des planchers aisons d'habitation 1/24 de leur longueur quand elles sont espa- tant vide que plein, et plus quand l'écartement augmente. La ur des solives ne doit pas être moindre que la moitié de la hau- (236), à moins qu'on ne place des fourrures ou des liernes pour empêcher de gauchir. Quant aux poutres, il conseille de leur ner pour équarrissage 1/18 de leur portée quand elles sont espa- de 3 mètres à $3^m,50$, ce qui se rapproche assez des dimensions donnerait la formule $\frac{pL^2}{8} = \frac{Rbh^2}{6}$ du n° 242, dans laquelle p, charge mètre de longueur de la pièce, serait calculé à raison de 200 ki- ammes par mètre carré de surface (une poutre peut même se ıver momentanément chargée d'un poids supérieur quand il y a grand nombre de personnes en mouvement dans la pièce qu'elle porte, n° 630); $R = 600000$ (n° 236), et $b = h$, car les poutres ont inairement une section transversale carrée, afin de ne pas les iblir en coupant les fibres pour les rendre méplates.

e tableau suivant donne les dimensions des poutres et des solives planchers d'après Bullet, *et rapportées par* M. Emy *comme étant usage dans les bâtisses ordinaires.*

POUTRES.		SOLIVES DE BRIN.			SOLIVES DE SCIAGE.		
Long.	Équarrissage.	Long.	Équarrissage.	Écart.	Longueur.	Équarrissage.	Écart.
m. 3.90	m. 0.27 sur m. 0.32						
4.87	0.30 0.36						
5.85	0.33 0.40						
6.82	0.35 0.44				m. 4.87	m. 0.16 sur m. 0.22	
7.80	0.37 0.48				5.85	0.22 0.25	
8.77	0.41 0.51	de m. 2.92 à m. 4.87	m. 0.14 sur m. 0.19	m. 0.16	m. 7.80 à m. 8.12	0.24 0.27	m. 0.32
9.75	0.43 0.56				m. 8.77	0.27 0.30	
10.72	0.46 0.59						
11.70	0.49 0.62						
12.68	0.51 0.65						
13.64	0.54 0.68						

Tredgold donne la formule suivante pour calculer les dimensions des solives et des poutres.

$$h = K\sqrt[3]{\frac{l^2}{b}}.$$

- h hauteur de la pièce en mètres;
- b largeur *id.* *id.*;
- l portée de la pièce *id.*;
- K coefficient qui prend les valeurs suivantes :

1° *Pour les planchers simples*, à un seul rang de solives, sans que b puisse être inférieur à 0m,05, K = 0,0363 si les solives sont en sapin, et K = 0,0376 si elles sont en chêne;

2° *Pour les planchers assemblés*, les poutres principales, sans que leur écartement excède 3 mètres, exigent que l'on fasse K = 0,0688 ou 0,0711, suivant qu'elles sont en sapin ou en chêne;

Pour les petites poutres transversales assemblées aux poutres principales, distantes au plus de 1m,30 à 2 mètres, K = 0,0560 pour le sapin et K = 0,0578 pour le chêne.

Les dimensions des solives supérieures se règlent comme au 1°.

Enfin pour les solives inférieures qui ne servent qu'à fixer les lattes, sans prendre b supérieur à 0m,05, on fait K = 0,0104 ou 0,0109, suivant que l'on emploie le sapin ou le chêne.

Aujourd'hui les solives s'espacent de 0m,33 environ d'axe en axe, et l'on fait à peu près $h = 2b$ (tableau page 926). Des charpentiers de Paris font même $h = 3b$, avec espacement de 0m,30 d'axe en axe.

Pour les poitrails de boutiques (626), on est dans l'usage de refendre en deux les pièces de bois qui servent à les former, d'en écarter les deux parties de 0m,05 à 0m,06 par des fourrures, et de les relier par des boulons. L'augmentation de largeur que l'on donne ainsi aux poitrails fait qu'il est plus facile d'y reposer les murs; de plus, le bois refendu perd facilement son humidité naturelle, qu'il aurait conservée en partie sans cette précaution, ce qui en aurait accéléré la pourriture.

y a encore un cas où l'on refend une poutre : c'est celui où, ne
›osant pas de bois d'une assez forte dimension, on est obligé
oir recours aux poutres armées. Dans ce cas on refend la pièce
›ois et l'on en écarte les deux parties entre lesquelles on place
x pièces de bois qui forment un triangle isocèle dont la poutre
la base. La hauteur de ce triangle est faible, afin que le dessus
armatures ne dépasse pas le haut des lambourdes sur lesquelles
osent l'aire en plâtre et le parquet. Un boulon allant du sommet
triangle au milieu de sa base rend tout le système solidaire et lui
ne une grande rigidité.

our les édifices tels que les magasins à blés, entrepôts, etc., il est
›ossible de donner une règle empirique pour déterminer les di-
nsions des poutres, solives et autres pièces des planchers ; on est
igé d'avoir recours aux formules relatives à la résistance des ma-
aux (nos 236 et suivants).

'outres et solives nervées en bois.

uand on emploie des bois ou des fers méplats pour résister à des
ssions transversales, on a intérêt à adopter l'épaisseur b la moindre
sible, par rapport à la hauteur h, puisque c'est celle dont le mo-
nt d'inertie $\frac{1}{12}bh^3$ est le plus grand possible pour des sections bh,
', équivalentes (236). Si les tôles sont trop minces, elles se voi-
t, si les bois sont trop méplats, ils se plissent.

'our les constructions en bois, la hauteur h est donnée par la sec-
n h^2 d'équarrissage des poutres livrées au commerce ; s'il s'agit
n plancher, la somme des largeurs $\Sigma b = B$ des poutres d'une por-
L est donnée par la formule (242).

$$\frac{PL^2}{8} = R\frac{Bh^2}{6}.$$

pression par mètre courant de portée du plancher pour toute sa largeur : si le plancher à 10 mètres de largeur, et qu'il doive résister à une pression de 280 kilog. par mètre carré, P sera égal à 2 800 kilog. (630).

B étant obtenu, on a un grand intérêt à diviser cette largeur en
plus grand nombre possible de poutrelles d'une épaisseur b, afin
diminuer la partie des pièces du parquet, et celle du lattis du
fond ; ainsi il est très-important de savoir à quelle limite de grande
urité on doit s'arrêter dans la détermination du rapport de $\frac{b}{h}$.

ns la pratique, pour les solives, on fait $\frac{b}{h} = \frac{1}{2}$ environ.

Partant de ces considérations, M. Lagout, ingénieur des ponts et
aussées, a cherché à concilier le principe avantageux des bois mé-
its avec la règle précédente, en clouant sur la moitié supérieure
s faces latérales des bois méplats, des nervures économiques, de

manière à donner à la face supérieure de la pièce armée, une largeur égale à la moitié de la hauteur, et à doubler ainsi, à peu de frais, la résistance du bois méplat.

Croûtes ou dosses de scieries utilisées en nervures.

M. Lagout ayant soumis des bois méplats à des pressions transversales croissantes, il a observé que l'altération du bois se produisait d'abord dans la zone supérieure ou de compression des fibres, avant que la limite d'élasticité fût atteinte dans la zone inférieure ou de traction des fibres, et il a été ainsi conduit à consolider la partie supérieure par des demi-croûtes ou matières encombrantes des scieries clouées le long de la pièce en forme de nervures, dont la plus grande section est au milieu de la poutre, ce qui lui donne en plan la forme d'un solide d'égale résistance qui a une hauteur uniforme (249).

L'épaisseur uniforme b de l'âme est égale au sixième de la hauteur h de la poutre et la plus grande largeur de chaque nervure, au milieu de la longueur de la poutre, est aussi égale à b; d'où il résulte qu'en ce point la largeur totale de la base supérieure est égale à $3b = \frac{1}{2} h$.

Cambrure. De plus, avant de l'armer de ses nervures, la pièce est cambrée en son milieu sous une flèche égale aux $\frac{4}{1000}$ de la portée L.

La pièce de bois méplat ainsi préparée présente trois avantages :

1° La résistance de la pièce nervée est double environ de la pièce non nervée, ce qui représente une économie de 50 p. 100 du bois du commerce;

2° Le prix de revient est augmenté d'un tiers, ce qui équivaut à une économie en argent de 33 p. 100 ;

3° La cambrure disparaissait à l'œil sous la flexion produite par la charge utile. Résultat important, puisque la flexion trop grande des pièces primitivement droites oblige souvent les constructeurs à augmenter la section pour diminuer la flèche.

Règles pratiques pour les ouvriers :

1° Débitez en 6 madriers les bois équarris;

2° Placez le madrier de champ sur un établi, fixez les extrémités, enfoncez une cale au milieu pour le soulever de $\frac{4}{1000}$ L, en ayant soin de mettre une plaque de fer entre la cale et la pièce de bois ;

3° Fixez de chaque côté les demi-croûtes arasées à la partie supérieure par deux rangs de clous disposes de manière que les clous d'un rang se croisent avec ceux de l'autre; dans chaque rang, les clous sont espacés de 0m,30. De plus, entre les bouts des deux parties de dosses qui composent chaque nervure, enfoncez une cale ou coin de bois, qui se trouve au milieu de la longueur de la poutre.

L'entraxe des poutres ainsi nervées peut être égal à celui qui conviendrait à des poutres rectangulaires d'une épaisseur double de celle du bois méplat.

629. *Pose du carrelage ou parquet et du plafond.* Pour termi-

plancher, si on laisse les solives apparentes, ce que l'on peut ans un atelier par exemple, on place dessus des recoupes de de bois appelés *bardeaux*, ou, pour plus d'économie, des lattes es. Sur ces bardeaux ou sur ce lattis on place une couche de de 0m,04 à 0m,05 d'épaisseur, qu'on laisse se raffermir; puis on ue en dessous, entre les solives, une deuxième couche de , qui peut être moins épaisse que la couche supérieure sur la-on pose le carrelage; ces plafonds partiels inférieurs s'ap-t *entrevous*.

e disposition ne peut convenir pour des lieux habités. Dans , on fait les planchers pleins ou creux. Pour les premiers, qui nettent peu le bruit d'un étage à un autre, on commence par un lattis sous les solives; sur ce lattis, on fait, comme pour ns de bois (626), un hourdis que l'on élève jusqu'au niveau de e supérieure des solives, et sur la surface qui en résulte on étend couche de plâtre sur laquelle on établit le carrelage. Sous le on fait un gobetage, puis un crépi, en appliquant le plâtre à de la taloche, et enfin l'enduit plus ou moins soigné qui doit iner le plafond, dont l'épaisseur ne dépasse pas 0m,03.

lieu d'un hourdis qui remplit complétement les vides laissés e les solives, on se contente quelquefois, après avoir fixé le lattis rieur, de placer dessus, entre les solives, une couche plus ou ns épaisse de plâtre. Ces couches de plâtre, séparées entre elles les solives sont ce que l'on appelle des *augets*; on en rend la sur-concave afin d'augmenter leur surface de contact avec les solives, es petits clous de peu de valeur, que l'on nomme *rappointis*, im-tés dans les solives à l'endroit des augets, augmentent l'adhé-e de ceux-ci avec les solives. Ces augets ajoutent considérablement solidité des plafonds, qui, sans cela, sont sujets à se fendiller et détacher du lattis. Une fois les augets terminés, on établit un is tant plein que vide sur les solives, et sur ce lattis on étale une che de plâtre de 0m,04 à 0m,05 d'épaisseur pour y reposer le car-ge.

Quand on ne craint pas que le bruit d'un étage se fasse trop en-dre à l'étage inférieur, on fait le plancher creux, c'est-à-dire qu'on pprime le hourdis et les augets entre les solives. Les lattis infé-ur et supérieur sont tant plein que vide; sous le premier on éta-t le plafond, et sur le second la couche de plâtre sur laquelle repose carrelage.

Quand au lieu d'un carrelage on veut établir un parquet, si les ives sont toutes de niveau à leur partie supérieure, on peut faire oser directement le parquet sur les solives, mais généralement établit une couche de plâtre de 0m,04 sur le lattis supérieur; sur tte couche de plâtre on place des *lambourdes*, pièces de bois de

$0^m,067$ de hauteur sur $0^m,05$ de largeur, et c'est sur ces lambourdes que l'on repose le parquet. On peut remplir les vides entre les lambourdes avec une matière sèche. Quelquefois on repose directement les lambourdes sur le lattis, et l'on se contente de les relier par des augets en plâtre reposant sur le lattis.

630. *Planchers en fer.*

Depuis quelques années, on substitue très-souvent le fer au bois dans la construction des planchers; on peut presque dire que c'est ce que l'on fait exclusivement aujourd'hui à Paris.

Les solives sont en fer double T; on les espace de $0^m,80$ à 1 mètre; elles sont engagées de $0^m,20$ à $0^m,25$ dans les murs et y sont retenues par des harpons et ancres; leur hauteur est ordinairement comprise entre le 1/30 et le 1/35 de leur longueur, et on leur donne environ 1/200 de flèche avant la pose. Les solives sont reliées entre elles par des entretoises en fer carré qui s'agrafent dans les murs et sur les solives; quelquefois les entretoises sont en fer rond et boulonnées; dans tous les cas, elles sont perpendiculaires aux solives, et espacées entre elles de $0^m,80$ à $0^m,90$. Sur les entretoises, parallèlement aux solives, on accroche des *fantons*, petites tringles en fer carré de $0^m,010$ à $0^m,011$ de côté, qui se recourbent à angle droit pour descendre au niveau de la face inférieure des solives. Les fantons sont espacés de $0^m,25$ environ, et c'est sur le treillage qu'ils forment que l'on exécute le hourdis, soit en plâtras secs, soit en briques creuses, soit en poterie; ces deux dernières matières ont l'avantage de donner des planchers secs, légers, résistants et communiquant peu le bruit d'un étage à l'autre.

Le plafond s'exécute sans lattes sous le hourdis. Si le plancher est plein, on peut poser le carrelage dessus directement; dans le cas contraire, on le pose sur une aire en plâtre faite sur un lattis reposant sur les solives. Les parquets peuvent se poser directement sur le hourdis; mais ordinairement on les fixe sur des lambourdes.

Les dimensions des solives se calculent à l'aide de la formule du n° 242, relative à une pièce reposant sur deux appuis et chargée uniformément sur toute sa longueur:

$$\frac{pL^2}{8} = \frac{RI}{n}.$$

p charge par mètre de longueur de la pièce, p comprend le poids du plancher (page 927), et la surcharge qui peut être accidentellement de 4 personnes ou de 280 kilog. par mètre carré de plancher. La pratique semble avoir confirmé qu'en prenant en moyenne 280 kilog pour la charge totale par mètre carré, ce qui répond à une surcharge d'une personne par mètre carré, on obtient une résistance suffisante; cela est dû à l'augmentation de rigidité produite par la liaison des différentes pièces par le hourdis, et aux encastrements dans les murs;

R, que l'on peut faire égal à 6 000 000; L, n et I ont les significations du n° 236.

AU des dimensions des différents fers en double T, *à angles arrondis, des de la Providence et de Montataire (page 298), des poids par mètre courant de s, et des valeurs de* $\frac{I}{n}$, *dressé récemment par M. Rouvenat* (Essai sur l'em- s fers à double T dans la construction des planchers). *On a* $n = 0.5h$.

NATION.	Valeur de (*fig.* 49) *h*	*h'*	*b*	*b — b'*	POIDS par mètre.	$\frac{I}{n}$
	m	m	m	m	k	
ence . . .	0.100	0.0858	0.0430	0.0063	9.00	0.000 033 03
			0.0469	0.0102	12.00	0.000 039 53
taire . . .	0.100	0.0872	0.0420	0.0057	8.06	0.000 029 89
			0.0465	0.0102	11.56	0.000 037 39
lence . . .	0.120	0.1050	0.0450	0.0070	11.00	0.000 046 90
			0.0493	0.0113	15.00	0.000 057 22
taire . . .	0.120	0.1056	0.0450	0.0060	10.00	0.000 044 20
			0.0496	0.0106	14.28	0.000 055 24
dence . . .	0.140	0.1230	0.0470	0.0081	14.00	0.000 067 36
			0.0525	0.0136	20.00	0.000 085 32
ntaire . . .	0.140	0.1240	0 0500	0.0070	13.00	0.000 065 73
			0.0516	0.0116	18.00	0.000 080 76
dence . . .	0.160	0.1434	0.0480	0.0079	15.00	0.000 081 63
			0.0560	0.0159	25.00	0.000 115 76
ataire . . .	0.160	0.1422	0.0550	0.0080	16.50	0.000 093 89
			0.0618	0.0148	25.00	0.000 122 91
idence . . .	0.180	0.1612	0.0550	0.0095	20.00	0.000 120 53
			0.0622	0.0167	30.00	0.000 159 41
ataire . . .	0.180	0.1614	0.0600	0.0090	20.00	0.000 125 45
			0.0671	0.0161	30.00	0.000 163 80
idence . . .	0.200	0.1776	0.0620	0.0102	25.00	0.000 171 52
			0.0684	0.0166	35.00	0.000 214 19
ataire . . .	0.200	0.1816	0.0650	0.0090	22.00	0.000 153 85
			0.0730	0.0170	34.40	0.000 207 18
idence . . .	0.220	0.1976	0.0640	0.0096	26.00	0.000 198 30
			0.0722	0.0178	40.00	0.000 264 44
ataire . . .	0.220	0.2004	0.0650	0.0092	24.30	0.000 184 12
			0.0730	0.0172	38.00	0.000 248 65
idence . . .	0.260	0.2360	0.0670	0.0130	36.40(*a*)	0.000 299 87
			0.0759	0.0219	54.40(*a*)	0.000 400 15
tataire . . .	0.260	»	0.1000	0.0080	45.00	0.000 470 42
			0.1079	0.0159	61.00	0.000 562 68
ridence . . .	0.300	0.2650	0.1200	0.0157	65.00	0.000 721 67
			0.1285	0.0242	85.00	0.000 849 18

Bourrelets du milieu déduits.

ur des solives espacées de $0^m,80$, c'est-à-dire pour $p = 280 \times 0^m,80$ 4 kilog., si la portée $L = 5^m,00$, la formule précédente donne

$$\frac{I}{n} = \frac{224 \times 25}{8 \times 6\,000\,000} = 0,000\,116\,67.$$

qui indique que l'on pourra employer les fers de la Providence, ırtout ceux de Montataire, dont $h = 0^m,16$ ou $0^m,18$, et qui pèsent ilog. ou 20 kilog. par mètre courant.

M. Moitié, d'une étude comparative entre les planchers en bois et ceux en fer, a conclu les résultats des tableaux suivants, qu'il a bien voulu nous communiquer. (Les poids sont exprimés en kilogr., les dimensions en mètres et les prix en francs.)

1° *Planchers en bois de 10m.50 de largeur, établis avec 4 enchevêtrures, 10 chevêtres et 28 solives de remplissage; avec étriers, harpons, ancres, chevêtres en fer et bandes de trémie, et dont le hourdis est maintenu par des clous à bateaux et rappointis.*

DÉTAILS.	Portée du plancher.	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
Surface du plancher		31.50	36.75	42.00	47.25	52.50	57.75	63.00
Enchevêtrures.	Longueur	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
	Section	0.20×0.20	0.21×0.21	0.22×0.21	0.24×0.22	0.25×0.24	0.27×0.25	0.32×0.30
	Volumes des 4	0.560	0.706	0.832	1.104	1.254	1.610	2.496
Chevêtres	Longueur totale	21.35	21.30	21.20	21.05	20.90	20.75	20.85
	Section	0.20×0.18	0.21×0.19	0.22×0.20	0.22×0.22	0.25×0.22	0.25×0.24	0.30×0.25
	Volume des 10	0.769	0.859	0.933	1.065	1.149	1.245	1.574
Solives	Longueur	1.75	2.25	2.75	3.25	3.40	4.25	4.45
	Section	0.15×0.08	0.16×0.08	0.17×0.08	0.19×0.08	0.20×0.09	0.23×0.10	0.25×0.12
	Volume des 28	0.588	0.806	1.047	1.383	1.740	2.737	3.492
Cube total de bois		1.917	2.370	2.812	3.552	4.413	5.592	7.945 a
Id. par mètre superficiel de plancher		0.0608	0.0645	0.0693	0.0754	0.0814	0.0960	0.126
Prix du stère de bois		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	110.00
Prix, par mètre carré de plancher,	du bois	6.08	6.45	6.93	7.51	8.14	9.60	18.86
	des ferments	1.25	1.30	1.40	1.45	1.50	1.60	2.25
	du plafond en plâtre sur lattis espacé de 0m.10, avec augets et aire en plâtre sur bardeaux	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
	Total, non compris le parquet	11.83	12.25	12.83	13.46	14.14	15.70	20.61
Poids du mètre carré,	*id.*	158.00	163.00	167.00	174.00	180.00	187.00	224.00
Épaisseur du plancher,	*id.*	0.25	0.25	0.27	0.28	0.30	0.30	0.35

a Dans ce cube est compris celui 0m.883 d'un cours de moises de 0m.15 sur 0m.25 de section, et de 10m.20 de longueur.

DÉTAILS.	Portée du plancher.	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
Surface du plancher		31.50	36.75	42.00	47.25	52.50	57.75	63.00
Solives	Espacement	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.75
	Nombre	12.	12.	12.	12.	12.	13.	13.
	Longueur	3.40	3.90	4.40	4.90	5.40	5.90	6.50
	Hauteur	0.12	0.12	0.12	0.14	0.14	0.16	0.16
	Poids par mètre	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	20.00	25.00
	Pois total	489.60	608.40	728.00	882.00	1036.80	1534.00	2212.00
Entretoises	Espacement	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75
	Nombre	42.	52.	52.	65.	65.	84.	112.
	Longueur développée	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.25	1.25
	Côté de la section, qui est carrée	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
	Poids par mètre	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52
	Poids total	76.64	94.45	94.45	118.56	118.56	146.84	212.80
26 cours de fantons (*a*)	Longueur, y compris scellements et agrafes	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.30
	Côté de la section, qui est carrée	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Poids du mètre courant	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
	Poids total	70.07	80.08	90.08	100.10	109.50	129.36	203.74
Poids des 8 harpons fixés avec boulons, et des 8 ancres de 0m,80 de longueur en fer carré de 0m.03 de côté		68.80	68.80	68.80	68.80	68.80	68.80	80.00
Poids total de fer		705.08	851.73	981.33	1169.46	1333.66	1879.00	2708.54
Poids de fer par mètre carré de plancher		22.383	23.258	23.364	24.75	26.409	32.536	42.91
Prix par mètre carré de plancher	du fer, à raison de 50 fr. les 100 kilog.	11.49	11.63	11.68	12.38	13.20	16.27	21.45
	du hourdis à augets de 0m.10 d'épaisseur	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.60
	de l'enduit du plafond en plâtre	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	total, non compris le parquet	14.69	15.13	15.18	15.88	16.75	19.77	25.05
Poids du mètre carré, *id.*		189.00	192.00	193.00	196.00	196.00	198.00	211.00
Épaisseur du plancher, *id.*		0.14	0.14	0.16	0.16	0.16	0.16	0.18

(*a*) Dans les planchers de 6 mètres de portée, il y a 42 cours de fantons ; et comme les entretoises ont été espacées de 0m.75 au lieu de 0m.80, comme cela a lieu ordinairement, il en résulte que chacune des 14 travées formées par les solives contient 8 entretoises.

Devis du plancher de 6 mètres de portée établi d'après le système de M. Rosier.

13 solives en fer, semblables à celles du tableau précédent, 2212k,50, à 0f,50 le kilog.	1106f,25
9 cours de boulons en fer de 0m,014 de diamètre, et de 10m,80 de longueur, y compris scellements aux extrémités, avec écrous simples et doubles; le tout 97m,20, à 1k,25 le mètre, pèse 121k,50, à 0f,75 le kilog.	91,13
15 cours de soliveaux en chêne de sciage, dressés sur toutes faces, de chacun 10m,00×0,05×0,16, cubent 1st,200, à 130f,00 le stère.	156,00
30 cours de tasseaux pour porter le bardeau, ensemble 300m,00, à 0f,25.	75,00
Le bardeau compris entre les solives, 2/3 de la surface, c'est-à-dire 42m,65, à 0f,80 le mètre.	34,12
Le plafond sur lattis espacés de 0m,10 avec augets au-dessus, produisent 63m,00, à 3f,00 le mètre.	189,00
L'aire au-dessus, faite en plâtre, de 0m,04 d'épaisseur, même surface, à 0f,75 le mètre.	47,25
Total	1698f,75
Prix du mètre carré de plancher, sans parquet.	26,70
Poids *id.* *id.*	145k,00
Épaisseur du plancher *id.*	0m,18

Devis du même plancher de 6m,00 de portée et de 63m,00 de surface, hourdé en poterie, et construit avec des fermettes espacées de 0m,75 et composées d'un arc et d'une corde en fer plat ou rond, avec brides et entretoises.

Détail d'une ferme :

Arc en fer de 0m,068×0m,014×6m,25.	»
Corde *id.* de 0m,054×0m,014×6m,50.	»
7 brides *id.* de 0m,054×0m,014×3m,50	»
Cales et fourrures 0m,054×0m,014×0m,60.	»
Poids total d'une ferme.	103k,36
Poids des 13 fermes	1343k,68
A 68f,00 les 100 kilog	913f,70
Pour chacune des 14 travées, 6 entretoises contre-coudées à double agrafe, fer de 0m,030×0,009×1m,45, ensemble 8m,70, à 2k,10 le mètre, 18k,27.	
Pour les 14; 255k,78, à 55f,00 les 100 kilog.	140f,68
8 ancres en fer de 0,030×0,030×0,80, ensemble 6m,40, à 7 kilog. le mètre, 44k,80. — à 50 fr. les 100 kilog.	22,40
3 cours de fantons, en fer carré de 0m,011 de côté, dans chaque travée. Pour les 14 travées, 42 fantons pesant 250k,83, à 40 fr. les 100 kilog.	100,33
62 mètres superficiels de poterie, de 0m,22 de hauteur, hourdée en plâtre, à 12f,60 le mètre.	781,20
Crépis et enduits du plafond, cintrage, etc., à 2 fr. le mètre.	126,00
Prix total du plafond, sans parquet	2084f,31
Prix du mètre carré, sans parquet	33,08
Poids du mètre carré, sans parquet.	142k
Épaisseur du plancher.	0m,28

ENDUITS.

631. *Enduits.* Dans les intérieurs, les enduits se font en plâtre comme les plafonds (629). Les enduits en mortier se posent à la truelle, et on les dresse avec une taloche de 0m,15 sur 0m,20. Les enduits en ciment romain se posent à la truelle et se dressent avec le tranchant de cet outil. Lorsque les enduits sont apparents, après la taloche ou la truelle, on passe la truelle brettée pour terminer la surface (625).

L'application des enduits en mortier hydraulique se fait principalement sur l'extrados des voûtes et sur les murs de soubassement, afin de préserver la maçonnerie de l'humidité et des infiltrations d'eau; on recouvre également de ces enduits tous les murs et radiers de réservoirs, de citernes, de fosses, d'aqueducs, etc.

Les mortiers préférables pour l'exécution de ces enduits sont ceux de chaux hydraulique, et surtout ceux de ciment romain; la prompte solidification de ces derniers à l'air et dans l'eau, et leur degré d'imperméabilité, leur donnent une supériorité incontestable sur tous les autres, surtout lorsqu'il s'agit de résister à la pression d'un liquide (596).

Lorsque l'enduit doit être appliqué sur une maçonnerie neuve hourdée en mortier de chaux, si les parements sont assez bruts pour présenter des aspéritées suffisantes pour retenir l'enduit, l'ouvrier commence par dégrader légèrement les joints si l'enduit est en mortier de chaux, et très-profondément s'il est en mortier de ciment, afin qu'on puisse tous les garnir d'un rocaillage, surtout si la maçonnerie est en moellons. Ce dégradage fait, l'ouvrier brosse et mouille les parements pour augmenter l'adhérence de l'enduit.

S'il s'agit au contraire d'une vieille construction dont les parements sont trop unis et couverts de matières nuisibles à l'adhérence du mortier, ou d'une maçonnerie hourdée en plâtre ou en mortier de terre, on dégrade d'abord les joints profondément et carrément, puis on pique à la pioche les matériaux, afin de priver les parements de toutes les parties altérées et y pratiquer des aspérités. Cela fait on nettoie parfaitement les parements en les frottant d'abord à sec avec des balais très-durs, et en les lavant ensuite à l'eau au moyen de brosses ou de balais, jusqu'à ce qu'ils soient entièrement dépourvus de poussière, qui aurait diminué l'adhérence de l'enduit.

Pour les parements supérieurs horizontaux, comme lorsqu'il s'agit de radiers, le nettoyage offre plus de difficultés; l'ouvrier éprouve beaucoup de peine pour retirer avec la brosse et la pointe de la truelle tous les détritus qui se logent dans les petites cavités provenant du dégradage. Cependant, le soulèvement des enduits de radiers

provenant presque toujours de leur défaut d'adhérence avec [illegible] nerie, défaut dû ordinairement aux détritus non enlevés, [illegible] l'importance d'un nettoyage parfait.

On nettoie très-bien les parements lorsqu'il y a possibilité de jeter de l'eau dessus avec une pompe foulante : par sa grande vitesse l'eau détache et entraîne la poussière, les matières terreuses et parcelles de mortier et de pierre ébranlées lors du dégradage.

Le dégradage et le lavage des parements étant terminés, on commence par remplir les plus grands joints d'un rocaillage [illegible] procède à la pose de l'enduit (*Art.* 211).

632. *Rejointoiement.* Il s'opère en creusant les joints avec [illegible] jusqu'à une profondeur de 2 à 3 centimètres, en les nettoyant [illegible] au moyen d'une brosse dure ou d'un balai, en les arrosant [illegible] et en les remplissant de mortier que l'on presse bien avec la truelle.

La surface vue des joints peut être plate et affleurer le nu du parement ; c'est ce que l'on fait pour les pierres tendres, afin de préserver les arêtes, et aussi pour les briques. Ces joints plats se lissent souvent avec une tige recourbée en fer, appelée *tire-joints*, que l'on fait glisser le long d'une règle.

Les maçonneries de moellons bruts ou smillés se font [illegible] à joints plats, ou encore à joints arrondis en creux, mais le plus souvent on le fait en boudin. Les joints de cette dernière forme, [illegible] conviennent surtout pour les pierres de taille dures, résistent mieux aux actions de la pluie et de la gelée, et le dégagement des arêtes de la pierre donne de plus aux parements un aspect de solidité et de beauté parfaitement en harmonie avec cette espèce de maçonnerie.

633. *Corniches en plâtre et moulures de lambris.* Pour faire une corniche en plâtre, on commence par former à la place qu'elle doit occuper une masse de plâtre dont la saillie soit un peu moindre [illegible] celle de la corniche, des rappointis assurent la fixité de cette masse; puis on fixe une règle bien droite contre le mur, au bas de la corniche et parallèlement à cette corniche. Cela fait, on applique une couche convenable de plâtre clair contre la masse solide, et c'est avec cette couche de plâtre mou que l'on fait les moulures de la corniche, en passant dessus, à plusieurs reprises, un calibre en [illegible] ou en bois dont le pourtour est taillé suivant les formes des moulures. Afin que ce calibre soit bien guidé pendant la traîne de la corniche, on le fixe par une entaille sur le milieu d'une règle qui porte [illegible] angle rentrant. Un bâton oblique, dont une extrémité se fixe dans [illegible] calibre et l'autre dans la règle, donne une certaine solidité à [illegible] ensemble. Par cette disposition, en faisant glisser le calibre sur [illegible] couche de plâtre, de manière que l'angle rentrant de sa règle suive bien l'angle saillant de la règle fixée contre le mur, on est sûr d'obtenir une corniche bien droite (*Art.* 375).

On suit une marche semblable pour faire les moulures des lambris

634. *Blanc en bourre.* Quand on n'a pas de plâtre, on fait usage, ır les plafonds et enduits, de *blanc en bourre*, mortier de terre argise et de 1/5 à 1/6 de chaux grasse, auquel on a mélangé de la ırre.

l faut éviter d'employer le blanc en bourre pendant les temps de ée.

.a chaux doit être éteinte depuis plusieurs mois, afin que l'on soit qu'aucune particule n'a échappé à l'extinction; sans quoi, après confection de l'enduit, le poli s'altérerait.

635. *Stucs.* On fait souvent usage d'un marbre artificiel appelé c. On distingue:

1° Le *stuc en chaux*, obtenu en mélangeant en parties égales de la ıux et du marbre en poudre tamisé; on le pose en couche mince, r une première couche en plâtre mélangé à un mortier de chaux de sable fin.

2° Le *stuc en plâtre*, qui n'est autre chose que du plâtre bien pur ché avec une eau dans laquelle on a fait fondre de la colle de Flandre.

Le stuc en plâtre ne peut s'employer qu'à l'intérieur; mais celui à la aux peut s'appliquer à l'extérieur, en ayant soin de faire l'ébauche ou premières couches entièrement en mortier de chaux hydraulique.

Si l'on veut donner au stuc en plâtre un aspect de marbre veiné, incruste dans la masse des veines faites avec du plâtre gâché lorié à l'aide de la couleur que l'on veut obtenir (*Art.* 81).

COMBLES.

636. *Combles.* C'est la construction que l'on fait pour préserver de pluie les parties intérieures d'un édifice.

Quelquefois un comble est assez peu incliné pour qu'on puisse y ırcher assez facilement; il prend alors le nom de *terrasse*.

Ordinairement un toit est formé de deux pans inclinés en sens ntraire et se raccordant suivant une arête qui prend le nom de *faîte*.

Dans les édifices plus longs que larges, le faîte est parallèle à la ngueur, et chacun des plans dont se compose le toit prend le nom *long-pan*. Quand les longs-pans du toit se terminent aux murs téraux de l'édifice, ces murs prennent le nom de *pignons*. Si le toit se mine par des portions de toit qui s'appuient sur les longs-pans et r les murs latéraux, ces pans inclinés s'appellent *croupes*. Quand difice est carré, les longs-pans et les croupes sont égaux et viennent terminer à un sommet commun; on a alors un toit en *pavillon*.

Quand on veut faire des logements dans les combles, les pans du it sont formés de deux parties; l'une inférieure se rapprochant beauup de la verticale et dans laquelle on pratique les fenêtres des aprtements, et une partie supérieure, plus inclinée et s'appuyant sur première et sur le faîte. Ce sont les combles à la *mansarde*.

Quelquefois le comble est composé d'une seule pente, et prend le nom d'*appentis*, nom qui s'étend à tout l'édifice, si cet édifice reste ouvert, ou si le comble n'est soutenu que par des poteaux ou des pilastres. Le faîte d'un appentis est généralement adossé à un des murs d'un édifice plus élevé.

637. *Fermes.* Comme les matériaux employés pour la couverture sont en petits échantillons et très-minces, pour les soutenir, on construit, tous les 3 à 4 mètres, des assemblages solides, appelés *fermes*, dirigés suivant la largeur de l'édifice. Ces fermes sont quelquefois en maçonnerie, plus souvent en fer ou en fer et fonte, ou encore en fer et bois, mais ordinairement elles sont en bois.

On doit toujours placer les fermes à l'aplomb des trumeaux, c'est-à-dire des parties pleines qui séparent les portes et croisées de l'édifice.

638. *Noms des différentes pièces qui entrent dans la composition d'une ferme.*

Figure 9, planche III.

a *entrait* ou *tirant*. Pièce recevant les assemblages des arbalétriers, et celui du poinçon quand il n'y a pas d'entrait retroussé ;

b *entrait retroussé*. Il reçoit l'assemblage du poinçon et empêche les arbalétriers de fléchir sous leur charge;

c *arbalétrier ;*

d *poinçon ;*

e *contre-fiche ;*

ff *jambettes ;*

g *aisselier ;*

h *faîte ;*

h' *lien de faîte*. Petite jambe de force empêchant tout mouvement du poinçon par rapport au faîte ;

h'' *lierne*. Pièce destinée à relier les fermes entre elles ;

ii *pannes*. Leur distance varie de 2 mètres à 2^{m},30 ; la panne qui se trouve à l'angle de deux parties qui composent un même pan de toit à la mansarde prend le nom de *panne de brisis ;*

kk *tasseaux*. Quelquefois, entre le tasseau et la panne, on place un coussinet en bois, qui prend le nom de tasseau ; alors le tasseau prend le nom de *chantignole ;*

l *sablière ;*

m *blochet ;*

n *chevrons*. Pièces de 9 à 11 centimètres d'équarrissage, éloignées entre elles de 0^{m},40 à 0^{m},45, et supportant la volige ou le lattis sur lequel on pose la couverture proprement dite ;

o *coyau*.

On appelle *chanlate* une pièce de bois dont la section est un triangle rectangle, qu'on place au pied des chevrons pour recevoir un égout pendant.

639. *Dimensions des différentes pièces d'une ferme.* C'est toujours avec le plus grand soin qu'un ingénieur doit étudier les fermes des combles. Par une heureuse disposition, il peut réduire les dimensions des pièces qui les composent, et par suite en diminuer le prix et le poids, tout en obtenant une rigidité plus grande, ce qui n'ajoute pas peu à la solidité des murs (529).

perpendiculaire à la dimension horizontale, et 24 centimètres pour cette dernière.

DÉSIGNATION DES FERMES.	Largeur du bâtiment dans œuvre.	Tirant ne portant pas de plancher.	Le tirant portant un plancher.	Entrait retroussé.	Jambes de force.	Arbalétriers.	Poinçon.	Contre-fiches et jambettes.	Aisseliers.	Faîte.	Liens de faîte.	Pannes, tasseaux, et chantignoles.	Liernes.	Sablières.	Blochets.	Chevrons.	Coyaux.	Chanlate.
Ferme simple.	6m	27/24	32/27	»	»	22/19	19/19	16/16	»	19/16	15/15	19/19	»	12/23	»	9/9	8/7	16/3
	9	33/30	40/32	»	»	26/24	24/24	19/19	»	20/17	16/16	20/20	»	14/25	»	10/10	9/8	18/4
	12	40/36	47/37	»	»	32/30	30/30	21/21	»	22/19	17/17	22/22	»	16/28	»	11/11	10/9	20/5
Ferme à entrait retroussé, et arbalétrier allant du faîte au tirant	6	»	42/30	21/19	»	22/19	19/19	15/15	19/15	19/16	15/15	19/19	»	12/23	»	9/9	8/7	18/3
	9	»	52/30	27/24	»	26/24	24/24	18/18	24/18	20/17	16/16	20/20	»	14/25	»	10/10	9/8	19/4
	12	»	63/45	33/30	»	32/30	30/30	22/22	30/22	22/19	17/17	22/22	»	16/28	»	11/11	10/9	20/5
Ferme avec entrait retroussé et jambe de force.	6	»	42/30	21/19	24/19	18/15	15/15	14/14	19/15	19/16	15/15	19/19	19/19	12/23	18/14	9/9	8/7	16/3
	9	»	52/37	27/24	29/24	22/18	18/18	16/16	24/18	20/17	16/16	20/20	20/20	14/25	20/15	10/10	9/8	18/4
	12	»	63/45	33/30	35/30	27/22	22/22	18/18	30/22	22/19	17/17	22/22	22/22	16/28	22/16	11/14	10/9	20/5
Ferme pour comble à la mansarde.	6	»	42/30	23/20	22/20	20/18	18/18	14/14	20/13	19/16	15/15	19/19	20/20	12/23	18/14	9/9	8/7	16/3
	9	»	52/37	30/27	29/27	25/23	23/23	16/16	27/18	20/17	16/16	20/20	21/21	14/25	20/15	10/10	9/8	18/4
	12	»	63/45	36/33	34/33	30/28	28/28	18/18	33/22	22/19	17/17	22/22	23/23	16/28	22/16	11/11	10/9	20/5

Avec le chêne et le sapin, qu'on emploie généralement, il ne convient pas d'augmenter les dimensions consignées au tableau précédent; et en soignant bien les assemblages et en disposant convenablement les pièces on peut les diminuer.

Pour un appentis, les dimensions des différentes pièces seraient à peu près les mêmes que pour une ferme complète d'une portée double. La figure 10, planche III, indique une disposition à adopter.

Dans les dispositions de fermes dont il vient d'être question, on est obligé d'avoir recours à un tirant pour contre-buter la poussée des arbalétriers sur les murs, poussée qui est d'autant plus grande que le toit est plus surbaissé et que sa portée est plus grande. Comme il y a des circonstances où l'entrait qui traverse l'édifice dans toute sa largeur serait embarrassant, on fait alors quelquefois usage du système de charpente publié par Philibert Delorme en 1561. Dans ce système, il n'y a pas de ferme proprement dite, ou plutôt chaque chevron est une espèce de ferme circulaire formée par deux cours de bouts de planches placés de champ l'un à côté de l'autre, de manière que les joints de chaque cours correspondent au milieu des bouts qui composent l'autre cours. Des liernes en bois qui traversent les fermes au milieu de leur largeur servent, par le moyen d'une clavette en bois placée sur chaque face de la ferme et traversant les liernes, à relier toutes les fermes entre elles. Ces clavettes ont aussi l'avantage de joindre entre eux les deux cours de bouts de planches qui forment chaque ferme, ce que l'on fait encore par des chevilles en bois de chêne de $0^m,01$ à $0^m,02$ de diamètre, ou, ce qui est plus facile, par des clous d'épingles. On a soin de placer une lierne à l'extrémité de chaque bout de planche, et de manière que moitié de sa hauteur se trouve entaillée dans un bout, et l'autre moitié dans le bout en contact, afin de joindre les deux bouts d'un même cours comme par un tenon. Les bouts de planches ont de $1^m,30$ à $1^m,40$ de longueur, et, d'après Philibert Delorme, leur section transversale doit être de

m.		m.		m.
0,216	sur	0,027	pour une portée de	8,00
0,27		0,04	*id.*	11,50
0,35		0,054	*id.*	19,50
0,35		0,067	*id.*	29,00

L'écartement des fermes est de $0^m,65$ environ d'axe en axe.

Le côté intérieur des planches reste droit, mais celui extérieur s'arrondit légèrement afin que l'ensemble fasse un arc continu.

Pour établir ces combles, on forme au-dessus et à l'intérieur des murs une retraite dans laquelle on établit une sablière en bois de $0^m,22$ à $0^m,25$ d'épaisseur sur une largeur égale à celle des planches. On tient la surface supérieure de cette sablière un peu au-dessus

aut de la corniche. et on y pratique des mortaises pour recevoir enons faits dans les bouts des fermes. Des coyaux en planches ordent les fermes avec la saillie de la corniche. Une fois les es posées, on place dessus des planches que l'on y fixe et que relie entre elles. Ces planches peuvent, au besoin, dispenser ployer les liernes dont il a été question ; mais alors on doit ir les cours de bouts de planches de chaque ferme avec des tes ou des chevilles de $0^m,02$; les chevilles présentant une plus ide surface que les pointes, elles se prêtent moins au glissement deux cours l'un sur l'autre.

usieurs constructeurs et ingénieurs sont arrivés depuis quelques ées à supprimer le tirant au moyen de fermes curvilignes de es portées, composées de planches ou de madriers équarris dis-ès de différentes manières (640).

40. *Calcul des dimensions des différentes pièces d'une ferme.* En liant avec attention de quelle manière les efforts se transmettent les différentes pièces d'une charpente, on peut calculer très-approximativement les dimensions qu'il convient de leur donner. Pour ndre une idée de ce genre de calcul, considérons :

° Une ferme composée seulement de deux arbalétriers et d'un en-it, figure 11, planche III. Soient :

la réaction horizontale de chacun des arbalétriers sur l'extrémité de l'autre ;
le poids de chaque arbalétrier et de sa charge ; P est réparti uniformément sur toute la longueur de l'arbalétrier ;
la demi-portée de la ferme ;
la hauteur de la ferme ;
$\sqrt{l^2+m^2}$ la longueur de l'arbalétrier ;
l'angle que font les arbalétriers avec l'entrait.

Il faut d'abord, pour que le système se maintienne en équilibre, e, pour chaque arbalétrer, les forces P et N, qui tendent à les faire urner autour des points A ou C, se fassent équilibre autour de ces ints, et que l'on ait par conséquent (*Int.* 1407 et suiv.)

$$N \times m = P \times \frac{l}{2}, \quad \text{d'où} \quad N = P\frac{l}{2m}.$$

L'arbalétrier AB est sollicité par compression, dans le sens de la ngueur de ses fibres, par la résultante Q des deux forces N et $\frac{P}{2}$ appliquées au point B. On a (*Int.* 1360)

$$Q : \frac{P}{2} = L : m, \quad \text{d'où} \quad Q = P\frac{L}{2m}.$$

Ayant Q, à l'aide ce qui a été dit n° 234, on déterminera les dimensions à donner à l'arbalétrier AB pour résister à cette force.

L'arbalétrier AB doit aussi résister à la composante $P\cos\alpha = P\frac{l}{L}$ du poids P, normale à l'arbalétrier et répartie uniformément sur toute sa longueur.

On aura donc, d'après ce qui a été dit n° 242,

$$P\frac{l}{L} \times \frac{L}{8} = \frac{Rbh^2}{6}, \quad \text{d'où} \quad bh^2 = \frac{3Pl}{4R}.$$

b, h et R ont les mêmes significations qu'au n° 236.

Nous avons vu (236) qu'il convenait de faire varier R entre 550 000 et 750 000. Faisant $R = 700\,000$, cette valeur substituée dans l'équation précédente donne

$$bh^2 = 0{,}000\,001\,07\,Pl.$$

M. Ardant pose (*Mémoire sur les combles*)

$$bh^2 = P(0{,}000\,001\,11\,h + 0{,}000\,001\,07\,l).$$

Formule qui ne diffère de la précédente que par le terme en h, que M. Ardant introduit pour tenir compte de la compression due à la force qui agit dans le sens des fibres, et que l'on peut négliger près de celui en l.

La valeur précédente de R convient pour les charpentes ordinaires; mais pour des bois secs et bien équarris à vives arêtes on peut faire $R = 800\,000$, et même $R = 1\,000\,000$ si le bois est de choix.

L'entrait doit résister par traction à l'effort $T = N = P\frac{l}{2m}$ qui lui est transmis par les arbalétriers dans le sens de sa longueur; on doit donc avoir

$$P\frac{l}{2m} = bh \times 600\,000, \quad \text{d'où} \quad bh = 0{,}000\,000\,833\,P\frac{l}{m}.$$

600 000 nombre de kilogrammes que peut supporter le chêne par mètre carré de section (232).

L'entrait tend à se rompre par flexion sous son propre poids; on doit donc avoir, pour qu'il résiste à cet effort, en appelant δ le poids du mètre cube de bois, et en remarquant que le poids est réparti uniformément sur toute la longueur (242),

$$\frac{\delta bh \times 4l^2}{8} = \frac{Rbh^2}{6}, \quad \text{d'où} \quad bh = \frac{3\delta bl^2}{R}.$$

Faisant $R = 700\,000$, on a

$$bh = 0{,}000\,004\,29\delta bl^2.$$

Ajoutant cette valeur à la précédente, afin que l'on soit sûr que la

de l'entrait sera suffisante pour résister simultanément aux de traction et de flexion, on aura en définitive

$$bh = 0{,}000\,000\,833\, P\, \frac{l}{m} + 0{,}000\,001\,295 bl^2.$$

ıd le tirant est en fer, il doit en outre résister au retrait ré- t de la diminution de température. Or le fer se contractant 00 0122 de sa longueur par degré centigrade de refroidisse- (278), comme il faut 12 205 000 kilog. pour allonger une pièce de 1 mètre carré de section des 0,000 66 de sa longueur primi- 32), il en résulte que, pour chaque degré centigrade de dimi- ı de température, un tirant dont la section est A produira sur ne de ses extrémités, en tendant à se raccourcir, une traction à

$$A\, \frac{0{,}000\,0122}{0{,}000\,66} \times 12\,205\,000 = A \times 225\,608 \text{ kilog.},$$

la température passe de t à t', la traction du tirant sera

$$A \times 225\,608\,(t - t').$$

pposant que le fer employé résiste à un effort permanent de 0 000 kilog. par mètre carré de section (232), on devra donc avoir, que le tirant résiste à la poussée $N = P\,\frac{l}{2m}$ des arbalétriers et ffet de la contraction,

$$10\,000\,000 \times A = P\,\frac{l}{2m} + A \times 225\,608\,(t - t');$$

l'on tire

$$A = \frac{P\,\frac{l}{2m}}{10\,000\,000 - 225\,608\,(t - t')}.$$

Pour une ferme à tirant et faux entrait, telle que l'indique la 12, pl. III, on calculera les dimensions à donner à la partie su- eure AB de l'arbalétrier de la même manière que dans le cas édent, c'est-à-dire comme si la partie ABC reposait sur des murs B et C. Quant à la partie inférieure BD, on la calculera pour ré- r par flexion à la composante, normale à sa direction, de la ge comprise entre B et D (1°), et pour résister par compression ant ses fibres, à une force que l'on déterminera de cette manière : oitié du poids de la partie supérieure ABC est portée par le point le plus, le poids de la portion BD se décompose en deux parties es, l'une appliquée au point D et qui repose directement sur le , l'autre appliquée au point B et qui s'ajoute à la moitié du poids a partie supérieure ABC pour produire une charge verticale p.

Le point B est sollicité non-seulement par p, mais aussi par la réaction du faux entrait, et comme il y a équilibre, ces deux forces donnent une résultante BF dirigée suivant BD, et à laquelle cette pièce devra résister par compression. De la proportion

$$BF : Bp = p :: L : m, \quad \text{on conclut} \quad BF = p\,\frac{L}{m}.$$

Ayant la composante BF, on calculera les dimensions de BD d'après ce qui a été dit n° 234.

Le faux entrait ne résiste que quand AD fléchit; mais il convient de le calculer pour résister par compression à la composante BG. Remarquant que l'on a $BG = pF$, il en résulte que l'on peut poser

$$BG : Bp = p :: l : m, \quad \text{d'où} \quad BG = p\,\frac{l}{m}.$$

Ayant BG, on calculera les dimensions du faux entrait CB, d'après ce qui a été dit n° 234.

Quant au tirant, le faux entrait agissant par compression, on doit le calculer comme si cette pièce n'existait pas (1°).

3° *Pour un comble retroussé*, fig. 13, pl. III, il est évident que si l'arbalétrier doit se briser, ce sera au point B; c'est donc pour ce point qu'il faut calculer les dimensions à lui donner. Or remarquons que la réaction verticale DP du mur, sous l'extrémité de l'arbalétrier, est égale au poids total P du pan AD, et que P se décompose en deux forces, l'une DF dirigée suivant DB pour comprimer cette pièce dans le sens de la longueur de ses fibres, et l'autre DE perpendiculaire à BD, qui agit avec un bras de levier $BD = L'$ pour rompre cette pièce en B; les triangles semblables DEP et ADK donnent

$$DE : DP = P :: l : L, \quad \text{d'où} \quad DE = P\,\frac{l}{L}.$$

On calculera alors les dimensions à donner à l'arbalétrier au point B, à l'aide la formule

$$P\,\frac{lL'}{L} = \frac{Rbh^2}{6}, \quad \text{d'où} \quad bh^2 = \frac{6PlL'}{RL}. \qquad (336)$$

Faisant $R = 600\,000$, cette formule devient

$$bh^2 = 0{,}000\,01\,\frac{PlL'}{L}.$$

La force verticale P, appliquée au point D, tend à faire tourner l'arbalétrier autour du point A avec le bras de levier l; la traction T de l'entrait CB s'oppose à ce mouvement avec un bras de levier m', et comme la charge P s'oppose aussi à ce mouvement avec le bras de levier $\frac{l}{2}$, puisqu'il y a équilibre entre ces trois forces, on a

$$Pl = Tm' + \frac{Pl}{2}, \quad \text{d'où} \quad T = \frac{Pl}{2m'}.$$

; T, on déterminera les dimensions à donner à CB, d'après ce
.é dit ci-dessus (1°) (232).

*ur des combles retroussés supportés par des poteaux réunis
ılétriers par des aisseliers*, fig. 14, pl. III, M. Ardant donne
ıules suivantes pour calculer les dimensions des arbalétriers
›oteaux.

ICLINAISON DU TOIT.	ARBALÉTRIERS.	POTEAUX.
base pour 1 de haut.	$bh^2 = 0.000\,001\,04\,Pl$	$bh^2 = 0.000\,002\,26\,Pl$
2	$bh^2 = 0.000\,001\,04\,Pl$	$bh^2 = 0.000\,002\,02\,Pl$
1	$bh^2 = 0.000\,001\,05\,Pl$	$bh^2 = 0.000\,001\,63\,Pl$

ɔrmules, dans lesquelles P est le poids d'un des pans du toit et l la demi-ou-
, ont été données par des fermes formant des polygones circonscrits à des

les constructions exécutées avec beaucoup de soin et avec des bois de choix ;
ı M. Ardant, au lieu de faire travailler les charpentes au 1/10 de la charge qu
rait la rupture, ce que supposent les formules, on peut les charger jusqu'au 1/6
n; ce qui revient à multiplier par 6/10 les coefficients numériques de ces for-
(page 936).

Pour de plus grandes portées, les fermes précédentes se com-
ıt comme l'indiquent les fig. 86 et 87.

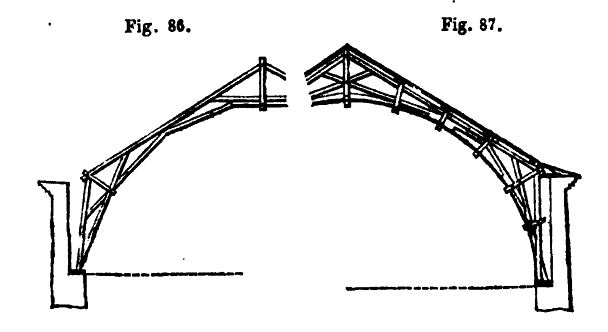


Fig. 86. Fig. 87.

'our ces dispositions, on fait encore usage des formules du ta-
au précédent, mais en partageant l'épaisseur trouvée pour l'arba-
rier, entre cette pièce et le renfort qui la double, et celle trouvée
ır le poteau, entre l'ensemble formé par cette pièce et la jambe
force, en donnant à celle-ci la largeur du poteau.

Application de ces règles, faite par M. Ardant, aux fermes du manége de Pont-à-Mousson. On a

$2l = 18$ mètres ;
Inclinaison du toit, 27° à l'horizon ou 63° avec la verticale ;
Longueur de l'arbalétrier, $10^m,75$;
Écartement des fermes, $3^m,50$.

Poids de la couverture par mètre carré :

1° 50 tuiles courbes de Lorraine, mouillées	90 kilog.
2° Un mètre carré de plancher de $0^m,027$ d'épaisseur, avec clous	19
3° Deux mètres courants de chevrons de $0^m,10$ sur $0^m,10$	14
	123

Poids porté par une demi-ferme, $10,75 \times 3,50 \times 123 =$	4628
Cube approximatif d'une demi-ferme, $2^m,50$; poids $2,50 \times 600 =$ . . .	1500
Poids des pannes et liernes, évalué à	600
Total	6728 kilog.

Soit $$P = 7000 \text{ kilog.}$$

L'équarrissage de l'arbalétrier est alors donné par la formule

$$bh^2 = 0,000\,001\,04 \times 7\,000 \times 9 = 0,065\,52.$$

On a fait $b = 0^m,20$ et l'on tire $h = 0^m,572$.

On a adopté $h = 0^m,58$.

Pour le poteau, on a

$$bh^2 = 0,000\,002\,26 \times 7\,000 \times 9 = 0,142\,38.$$

On a fait $b = 0^m,40$, partagé entre les deux moises qui forment le poteau, et l'on a déduit

$$h = 0^m,596, \quad \text{soit} \quad h = 0^m,60.$$

On a partagé cette épaisseur entre le poteau et la jambe de force, en donnant à chacune de ces pièces $0^m,20$ de largeur, sur $0^m,30$ d'épaisseur.

En opérant ainsi, M. Morin a calculé les résultats du tableau suivant, pour des arbalétriers incinés à 3 de base pour 2 de hauteur et chargés de 400 kilog. par mètre courant de projection horizontale.

ÉQUARRISSAGE.			
de l'arbalétrier.	des sous-arbalétriers et aisseliers.	de chacune des moises des poteaux.	de la jambe de force.
m. m.	m. m.	m. m.	m. m.
0.20 et 0.25	0.20 et 0.20	0.125 et 0.25	0.20 et 0.25
0.20 et 0.22	0.20 et 0.20	0.125 et 0.22	0.20 et 0.25
0.20 et 0.20	0.20 et 0.20	0.125 et 0.20	0.20 et 0.25
0.15 et 0.20	0.15 et 0.20	0.125 et 0.18	0.15 et 0.15
0.15 et 0.18	0.15 et 0.15	0.120 et 0.16	0.15 et 0.15
0.15 et 0.15	0.15 et 0.15	0.120 et 0.15	0.15 et 0.15

›s fermes du système de M. Émy sont composées d'une ferme :es droites, comme les précédentes, reliée par des moises pen- à une ferme intérieure en arc de cercle formée de madriers à plat l'un sur l'autre. Des expériences de M. Ardant sur ce de fermes, il résulte que la ferme droite porte à peu près du poids du toit, et que l'arc porte l'autre tiers. Il conviendra le calculer les dimensions de la forme droite à l'aide des for- ; précédentes (4°), dans lesquelles on fera P égal aux 2/3 du poids ın de toit qui repose sur la ferme.

ant aux dimensions de l'arc, on se servira des formules suivantes, à M. Ardant, et qui sont aussi applicables à des arcs simples, à-dire non accompagnés de fermes droites.

DE e le la charge.	POUSSÉE au niveau des nais-sances.	ABAISSEMENT du sommet ou du point de suspension de la charge.	ÉQUARRISSAGE, EN MÈTRES, DES ARCS dont la section est rectangulaire.	ÉQUARRISSAGE, EN MÈTRES, DES ARCS dont la section est circulaire.
ient sur la rence. . . .	0.16P	$0.051\,\frac{Pl^3}{Ebh^3}$	$bh^2=\frac{P}{R}(0.599h+0.27l)$	$r^3=\frac{P}{R}(0.124r+0.062l)$
nent par rap- l'horizontale.	0.22P	$0.084\,\frac{Pl^3}{Ebh^3}$	$bh^2=\frac{P}{R}(0.680h+0.25l)$	$r^3=\frac{P}{R}(0.200r+0.044l)$
e au sommet.	0.32P	$0.222\,\frac{Pl^3}{Ebh^3}$	$bh^2=\frac{P}{R}(0.597h+0.55l)$	$r^3=\frac{P}{R}(0.200r+0.212l)$
ie au-dessus ieu du rayon.	0.28P	$0.173\,\frac{Pl^3}{Ebh^3}$		

poids porté par l'arc entier; c'est alors le 1/3 du poids total du toit supporté par la ferme du système de M. Émy;
rayon moyen de l'arc;
rayon de la section transversale de l'arc;
coefficient qu'il convient de faire égal à 300 000 pour les arcs en pièces de bois;
coefficient qu'il convient de faire égal à 500 000 000 pour le bois (236).

Les formules précédentes sont encore applicables aux arcs en fer fondu ou forgé; mais alors R = 5 000 000 et E = 1 200 000 000.

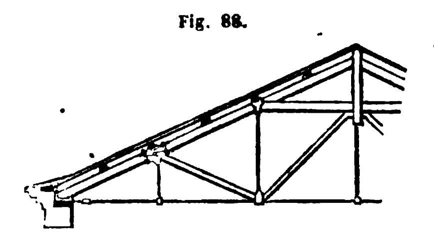


Fig. 88.

7° Pour les grandes fermes antiques ou à la Palladio, en charpente, avec tirant et aiguilles pendantes en fer également espacées, fig. 88, les dimensions des différentes pièces se calculent à l'aide des formules suivantes :

Arbalétrier supérieur $bh^2 = P'(0.000\,001\,14h + 0.000\,00$[illegible]$)$;

Arbalétrier inférieur $bh^2 = P''(0.000\,002\,57h + 0.000\,001$[illegible]$)$;

Entrait en bois $bh = 0.000\,000\,9P''\frac{l}{f} + 0.000\,00$[illegible]$l_1'^2$;

Tirant en bois ne portant pas plancher $bh = 0.000\,000\,9\,P\frac{l}{f} + 0.000\,000\,11$[illegible]$l_1^3$;

Tirant en fer ne portant pas plancher $bh = 0.000\,000\,4\,P\frac{l}{f} + 0.000\,000\,11\,dl_1^3$.

P charge totale de l'arbalétrier, qui est composé de deux, l'un allant [illegible] l'entrait en bois, et l'autre allant de cet entrait au tirant;

P′ et P″ charges respectives des arbalétriers supérieur et inférieur;

b dimension horizontale de la section des pièces, et h dimension perpendiculaire à b;

$2l$ portée totale de la charpente;

f montée ou hauteur du faîte au-dessus du tirant;

l' et l'' longueurs respectives des projections horizontales des deux parties de l'arbalétrier, $l' + l'' = l$;

d densité de la matière dont le tirant est composé;

l_1 longueur de tirant comprise entre deux aiguilles consécutives;

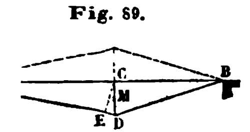
l'_1 longueur d'entrait comprise entre le poinçon et l'arbalétrier.

Nous avons vu dans les examens précédents que les poinçons et les tirants agissent par traction. Il convient donc, afin de diminuer la dépense et le poids du toit, de les construire en fer; c'est ce que l'on fait souvent.

Les arbalétriers et les faux entraits agissant par flexion et par compression, on les fait le plus généralement en bois.

641. *Charpentes en fer*. Ce système de charpentes tendant à se répandre de jour en jour, quoique la détermination des efforts que les différentes pièces qui les composent soit très-simple, puisqu'elle revient à la décomposition ou à la composition des efforts extérieurs, ce qui peut se faire, soit géométriquement, soit par le calcul, nous allons cependant exposer la marche à suivre dans les cas qui peuvent se présenter. Il est évident que, suivant les localités, on pourra faire usage simultanément du fer, du bois et de la fonte.

Fig. 89.



1° *Pièce* AB *reposant sur deux appuis, soutenue en son milieu par un poinçon* CD *reposant sur un tirant* ADB, *et chargée d'un poids* P *uniformément réparti sur toute sa longueur, ce qui revient à une*

e $\frac{P}{2}$ *appliquée au milieu* C (fig. 89). Soient :

distance AB des points d'appui;

longueur CD du poinçon;

longueur de chacun des tirants AD et DB; $N=\sqrt{\frac{L^2}{4}+M^2}$;

effort de compression suivant la longueur de CD;

tension de chacun des tirants.

l'on suppose que le point C ne s'abaisse pas sous la charge, on a

$$Q=\frac{P}{2}. \qquad (234)$$

point D étant en équilibre sous l'action des tensions T des ti-s AD et DB et de la charge Q du tirant, on a

$$T:Q=N:2M, \quad \text{d'où} \quad T=Q\frac{N}{2M}=P\frac{N}{4M}. \qquad (232)$$

hacune des parties AC et BC résiste par compression à la résultante e la portion de charge $\frac{P}{4}$ de l'appui A et de la tension T, et on a

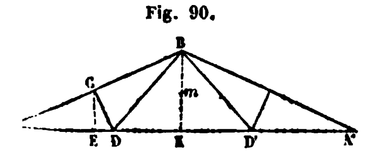
$$Q'=\frac{PL}{8M}. \qquad (234)$$

ans la pratique on ne doit pas supposer que le point C ne s'abaisse ; car avant de mettre la charge ou en l'enlevant, la réaction des nts ferait fléchir la pièce de bas en haut avec un effort Q appliqué nilieu C. Pour diminuer autant que possible la flexion absolue, on fléchir la pièce de haut en bas de manière à lui faire supporter di-tement la moitié $\frac{P}{4}$ de la charge appliquée au point C, et on a alors

$$Q=\frac{P}{4}, \quad T=Q\frac{N}{2M}=P\frac{N}{8M} \quad \text{et} \quad \frac{PL}{16}=\frac{RI}{n}. \qquad (242)$$

° *Charpente à grande portée avec tirants et contre-fiches* (fig. 90). Soient :

Fig. 90.



L la longueur de l'arbalétrier AB;

$L=\sqrt{l^2+m^2}$

l la demi-portée AK de la ferme;

M la longueur de la contre-fiche CD;

N la longueur de chacun des tirants AD et DB;

m la montée BK du toit;
a l'angle des arbalétriers avec l'horizon ;
Q l'effort de compression de CD ;
T, T' et T'', les tensions respectives des tirants DD', AD et DB;
P la charge totale de chaque arbalétrier, répartie uniformément sur toute leur longueur.

Ce cas est celui du 1° du n° 640, dans lequel les arbalétriers sont remplacés par les systèmes rigides ADB, A'D'B. Ainsi on a d'abord

$$T = P \frac{l}{2m}.$$

Puis, par analogie avec le 1°, le système ADB donne

$$Q = \frac{P}{4} \cos a = \frac{P}{4} \times \frac{l}{L}, \quad T'' = Q \frac{N}{2M}, \quad T' = T + T'',$$

$$P \frac{lL}{16L} \quad \text{ou} \quad \frac{Pl}{16} = \frac{RI}{n}.$$

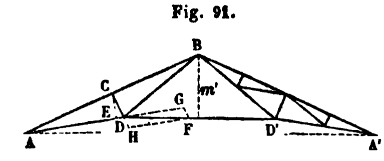


Fig. 91.

3° *Cas où le tirant est à un niveau supérieur à celui des points d'appui*, fig. 91. Quant à la tension T, on se trouve dans les conditions de l'entrait retroussé (3°, n° 640), et on a

$$T = P \frac{l}{2m'}.$$

Comme au 2°

$$Q = \frac{P}{4} \times \frac{l}{L}.$$

Décomposant T, représenté à une certaine échelle par DF, en deux forces, l'une DG = T_1 dirigée suivant AD, et l'autre DH = T_2 dirigée suivant CD, le point D étant en équilibre sous l'action des 3 forces $Q + T_2$, $T' - T_1$ et T'', on a

$$T'' = (Q + T_2) \frac{N}{2M} \quad \text{et} \quad T' = T_1 + T''.$$

On a encore, comme au 2°, pour calculer la section de l'arbalétrier

$$\frac{Pl}{16} = \frac{RI}{n}.$$

Cette section devra être suffisante pour que AC puisse résister par compression.

Si l'on avait un plus grand nombre de contre-fiches, comme dans la partie droite de la fig. 91, on suivrait la même marche pour ca-

es tensions des tirants successifs, la pression des contre-fiches ;fforts auxquels sont soumis les entraits.

me les assemblages ajoutent à la solidité, et que l'on ne fait)our les grandes charpentes que de matériaux de choix, après ɜnu compte de tous les efforts, on pourra faire R égal à 8 000 000 : fer et à 1 000 000 pour le bois.

Poids et inclinaison des toits. Il ne nous reste, pour pou- lculer les dimensions des différentes pièces d'une ferme, qu'à r le poids P (640 et 641), qui se compose du poids de la couver- le celui du bois qui entre dans la charpente, de celui de la qui peut se déposer sur le toit, et de la pression du vent.

ırdant *donne les résultats suivants pour les couvertures les plus*

:RE DE LA COUVERTURE.	INCLINAISON du toit sur l'horizon.	POIDS du mètre carré de couverture (bois non compris)	CUBE DE BOIS. par mètre carré.
		k.	m. c.
s plates à crochet. . . .	45° à 33°	60	0.063
:s creuses, posées à sec. .	27 à 21	75 à 90	0.058
Id. maçonnées. . .	31 à 27	136	0.068
ises.	45 à 33	38	0.056
re en feuilles.	21 à 18	14	0.042
, n° 14, et tôle galvanisée.	21 à 18	8.50	0.042
ic bitumineux.	21 à 18	25	0.056

neige pesant dix fois moins que l'eau, pour la couche maximum ,50 qui peut s'amonceler sur un toit, il faudrait compter sur un de 50 kilogrammes par mètre carré de couverture. Dans nos ts, on compte ordinairement sur 25 kilogrammes.

ınt à l'influence du vent, on s'en rendra compte à l'aide de ce été dit n° 225, soit que l'on suppose que des rafales amènent le normalement aux pans du toit, soit qu'on suppose que le vent uve horizontalement et frappe le toit sous un certain angle. En ce, on néglige le plus souvent l'influence du vent, dont la vi- n'est en moyenne que de 6 à 7 mètres.

5. *Couvertures des édifices.* Dans les pays où il pleut rarement neige jamais, les toits sont peu inclinés. En Égypte et en Syrie, s les maisons sont couvertes en terrasse; dans le midi de la ce, les toits ont une faible pente; dans nos climats, la pente la ordinaire est de 1/3 de la largeur de l'édifice. Du reste, les ma- ıx employés à la couverture ont une grande influence sur cette :. Ces matériaux sont la tuile, l'ardoise, le bardeau, le cuivre, ıc, le plomb, le fer, la fonte de fer.

644. *Tuiles.* On a fabriqué des tuiles de plusieurs formes. A Paris on fait un usage fréquent de tuiles plates, dites de Bourgogne, dont les dimensions sont variables; celles du grand moule ont $0^m,34$ sur $0^m,23$ et $0^m,0157$ d'épaisseur, il en faut 42 par mètre carré de surface de toiture; celles du petit moule ont $0^m,257$ de longueur sur $0^m,18$ de largeur et $0^m,014$ d'épaisseur; il en faut 64 par mètre carré de toiture.

On pose les tuiles sur des lattes de $1^m,30$ de longueur et de $0^m,007$ d'épaisseur, espacées tant plein que vide si elles ont $0^m,05$ à $0^m,06$ de largeur. Ces dimensions sont le plus souvent aujourd'hui réduites à $0^m,0034$ d'épaisseur sur $0^m,041$ à $0^m,045$ de largeur, ce qui ne diminue pas peu la solidité de la toiture. On fixe les lattes avec des clous de $0^m,027$ de longueur, et de 620 à 640 au kilogramme.

Les tuiles se posent par rangs horizontaux en commençant par le bas du toit. Les tuiles d'un rang couvrent aux deux tiers celles du rang inférieur; la partie qui reste découverte prend le nom de *pureau*. Le rang inférieur se pose sur mortier, et il fait saillie de $0^m,16$ sur la corniche; sur ce premier rang, on en pose un second à joints croisés, qu'on nomme *doublis*. Quand il y a une corniche avec chéneau, on pose ordinairement un rang simple de tuiles s'appuyant sur le chéneau. Quand il n'y a pas de corniche, on la remplace par une chanlate sur laquelle on pose les tuiles comme sur la corniche (638).

Les tuiles creuses employées dans le midi de la France ont $0^m,40$ de longueur et $0^m,013$ d'épaisseur; elles ont $0^m,20$ de diamètre à un bout et $0^m,15$ à l'autre, ce qui les rend coniques.

La pente des combles couverts de ces tuiles ne doit pas excéder 26°, et elle est ordinairement de 18° à 21°. Les rangs verticaux de tuiles présentant leur concavité sont espacés de $0^m,04$, et les tuiles se recouvrent en longueur de $0^m,05$ à $0^m,06$. Les intervalles compris entre ces premiers rangs se recouvrent par d'autres rangs présentant leur convexité.

Il y a les tuiles flamandes, dites *tuiles pannes*; la fig. 15, planche III, représente leur coupe transversale et la manière dont elles s'agrafent latéralement; elles se posent sur de grosses lattes bien dressées. Ces tuiles ont environ $0^m,35$ de côté sur $0^m,016$ d'épaisseur; il en faut 15 1/4 par mètre carré de toit.

Les tuiles romaines, qui s'agrafent mutuellement sur deux arêtes et se posent de manière qu'une de leurs diagonales soit horizontale et l'autre dirigée suivant la pente du toit, ont été ressuscitées il y a quelques années par M. Gourlier; elles pèsent 45 kilogrammes le mètre carré.

Plusieurs personnes se sont occupées de la fabrication des tuiles plates et en ont donné des modèles de différentes formes et gra-

dont un des plus remarquables est celui que M. Jolibois ex-
depuis plusieurs années dans la Lorraine, à Deyvillers, près
al, à Lerrain, près de Mirecourt, et à Corny, près de Metz.
ɔose des tuiles Jolibois est facile et n'exige pas des ouvriers
.périmentés. Les faibles surfaces de contact n'entretiennent pas
ɩdité, et par suite évitent cette végétation mousseuse qui en-
promptement la ruine des couvertures. La capillarité et le vent
ɹvent faire franchir à l'eau et à la neige les fortes saillies qui
rent les tuiles. La couverture est d'un aspect agréable qui s'har-
ɩe très-bien avec les grands monuments.
ne se douterait pas que le bâtiment de Deyvillers, qui provient
ancienne papeterie, ait jamais eu d'autre destination que
à laquelle il est utilisé, tant les machines et appareils y sont
sés avec art, et le service se fait avec régularité et ensemble.
ıt le travail de la terre se fait dans un étage souterrain, au mi-
luquel se trouvent les fours, dont le massif s'élève au niveau
ɩz-de-chaussée.
fait détremper la terre pendant 24 heures dans une cave qui
ɜ extérieurement le bâtiment de la fabrique; puis on la fait pas-
ntre des cylindres en fonte espacés de 5 millimètres, afin qu'au-
ɜ particule de terre n'échappe au complet ramollissement. Un
ɩier la reçoit alors et la met en boules que l'on fait passer deux
ısqu'à trois fois entre de nouveaux cylindres espacés seulement
millimètre, qui la réduisent en pâte fine et homogène. A cet
, on la tasse, en la triturant avec les pieds, dans une caisse rec-
ulaire en bois. La caisse étant remplie, en l'ouvrant, la terre
piétinée en conserve la forme, et des fils de fer placés sur le
. mobile de la caisse la divisent en quatre ou six parties, que
ɩ ouvriers refendent en plaques, à l'aide d'un fil de fer dont ils
nent les extrémités. Les plaques se placent sur des moules en
e, et un coup de presse à vis leur donne la forme des tuiles. On
ɔose sur des planchettes en bois et on les porte aux étendoirs,
ɩn leur laisse prendre assez de consistance pour qu'on puisse les
ɩier sans les déformer. A cet état, on enlève les bavures qu'ont
sées les presses; puis on les porte de nouveau aux étendoirs, mais
ɩes plaçant dans une position verticale et au-dessus des fours, où
ɜmpérature plus élevée termine la dessiccation.
ɩs étendoirs sont au premier étage et dans un grenier formant
deuxième étage.
. Jolibois cuit ses tuiles dans douze fours très-simples, dont on
ɩomprendre facilement la disposition. Un massif de 2m,60 environ
argeur en maçonnerie de briques, ayant pour coupe horizontale
rectangle terminé par deux demi-cercles, occupe le milieu de
ɩ le système. Ce massif est entouré complétement par une voûte

continue en plein cintre de $1^m,70$ de portée, ayant pour pieds-droits d'un côté tout le pourtour du noyau, et de l'autre un mur de $1^m,30$ d'épaisseur. Cette voûte annulaire est divisée en douze compartiments par des murs transversaux de $0^m,70$ d'épaisseur espacés entre eux de $3^m,40$ dans œuvre, et chacun de ces compartiments forme un four. Il y a six fours placés le long des parties droites du massif central et trois autour de chacune des parties arrondies.

Chaque four a ainsi $3^m,40$ de longueur totale et $1^m,70$ de largeur sa hauteur sous clef est de $2^m,55$.

Les murs séparatifs sont percés chacun de 15 trous de $0^m,15$ de côté, convenablement placés à trois étages différents et servant à faire passer le gaz d'un four dans un autre; des registres en fonte, se mouvant horizontalement, sont manœuvrés par des tiges qui traversent les murs extérieurs des fours et servent à régler ce passage. Deux petits regards faits dans les murs extérieurs, près des murs séparatifs, guident dans la manœuvre des registres.

Sur le haut de chaque mur séparatif débouche un canal qui communique avec un conduit qui règne sur tout le massif et va joindre la cheminée commune, qui est placée au milieu de ce massif. Ces canaux sont garnis de registres, afin qu'en les fermant et en ouvrant les trous des murs séparatifs, on puisse faire passer la flamme d'un même foyer dans deux, trois ou même quatre fours.

La cheminée est divisée en deux compartiments, dont l'un sert pour les fours en feu, et l'autre pour laisser dégager le calorique des fours cuits, quand le service de l'établissement ne le réclame pas.

Chaque four est divisé en deux parties, l'une formant la chambre de chauffe, ou foyer, et l'autre recevant la marchandise à cuire.

La chambre de chauffe a $0^m,50$ de longueur; elle règne sur toute la largeur du four et en occupe toute la hauteur. On y arrive par une porte de $0^m,50$ de largeur et $1^m,30$ de hauteur faite dans le mur extérieur. Cette porte est murée en briques pendant la cuisson, sauf une ouverture de $0^m,30$ à $0^m,40$ de côté, fermée par une dalle, et servant à faire un petit feu dans le premier four mis en feu, et au besoin à retirer les cendres ou les braises pendant la cuisson normale. La voûte est percée de deux ouvertures de $0^m,25$ de côté, au-dessus de chaque chambre de chauffe; c'est par ces ouvertures que l'on introduit le bois, qui brûle dans une position verticale, et par suite mieux en regard de toute la masse à cuire et en contact avec le courant d'air. Le foyer est séparé de la marchandise par une murette en briques réfractaires, à joints de $0^m,02$, afin de laisser passer librement la flamme, tout en préservant les tuiles du premier choc du foyer.

Le reste du four est rempli complétement. On ménage des carneaux de $0^m,10$ de largeur sur $0^m,30$ de hauteur à la partie inférieure du four. Ces carneaux sont faits en briques, et recouverts avec des dalles

nt 0m,35 de longueur et espacés de 0m,05. La marchandise est in-
luite dans le four par une ouverture de 0m,40 de côté, pratiquée
s la voûte, du côté opposé au foyer.
eux regards placés au sommet de la voûte permettent de juger
outes les parties du four sont également atteintes par le calorique.
ans le cas où l'on brûlerait de la houille ou de la tourbe, on éta-
ait une grille et un cendrier au bas de la chambre de chauffe.
a durée du feu est de 24 heures pour le premier four mis en feu,
it 14 de petit feu et 10 de grand. Tous les autres fours qui ont pro-
de la chaleur perdue dans les fours précédents sont cuits en 12,
et 8 heures de feu, selon la qualité du bois et le soin qu'a mis le
uffeur à bien utiliser la chaleur perdue. La cuisson parfaite d'un
r n'exige que 4 stères de bois ou 80 fagots, et l'on a encore assez
chaleur pour sécher la marchandise.
ne roue hydraulique fait marcher les cylindres et élève les tuiles
is les étendoirs. Les deux presses sont encore mues à bras d'homme.
es deux presses marchant bien peuvent donner 4000 tuiles par
r; mais comme on fait défourner par les ouvriers d'une presse, et
ce travail prend à peu près la moitié du temps, on ne moule par
naine que 16000 tuiles, dont 1 000 sont rejetées avant d'arriver au
r.
e personnel de la fabrique est de cinquante personnes, tout com-
s, employés, ouvriers, femmes et enfants.
I. Jolibois est breveté pour les différents détails de sa fabrication.
ivant M. Jolibois, MM. Gilardoni frères exploitaient déjà le même
dèle à Altkirch, et aujourd'hui il l'est dans différentes localités,
entre autres à Paris, par M. *Muller*.
!45. *Ardoises*. On en fait de trois modèles, qui ne diffèrent que
leurs dimensions. Le grand modèle d'Angers a 0m,298 sur 0m,217,
noyen modèle de Charleville a 0m,271 sur 0m,189, et le petit mo-
e (cartelettes d'Angers) 0m,217 sur 0m,162. L'épaisseur commune à
tes les ardoises est de 0m,0033; pour les cartelettes d'Angers, elle
st que de 0m,0028. Le mille pèse 612 kilog. pour le grand modèle,
i kilog. pour le modèle moyen, et 284 kilog. pour le petit. On en-
e les angles de leur partie supérieure.
es ardoises se recouvrent des 2/3 environ de leur longueur, le
eau n'est que de 1/3; ce grand recouvrement est dû à ce que la
illarité tend toujours à faire monter l'eau entre les ardoises. La
te des toits varie entre 33° et 45°; avec une pente moindre, mal-
le grand recouvrement, les voliges sur lesquelles on pose les
oises sont sujettes à se mouiller, elles se pourrissent, les clous
y fixent les ardoises n'y adhèrent plus, et le vent peut enlever
couverture.
es ardoises se posent sur des planches en bois blanc, ordinai-

rement en sapin, de 0^m,011 d'épaisseur, non jointives, et disposées autant que possible, de manière que toutes leurs faces supér... soient dans un même plan. Il faut 46 ardoises du grand modèle, ... moyen ou 85 du petit pour couvrir un mètre carré de toit.

Comme pour les autres couvertures, on commence à poser les ardoises par l'égout, que l'on forme en superposant sur la chanlate deux ou trois rangs d'ardoises, afin de donner assez de solidité à cette partie inférieure pour résister au vent. Les ardoises qui forment l'égout se posent ordinairement sur plâtre, en leur laissant faire saillie de 0^m,04 à 0^m,05 sur la chanlate. Quand on a de bonnes tuiles, on les emploie à faire l'égout, que l'on met alors en saillie de 0^m,1... environ sur la chanlate.

A partir de l'égout, les ardoises se placent par rangs horizontaux comme pour les tuiles plates (644).

Pour percer et clouer les ardoises, et tailler leurs bords, l'ouvrier se sert d'un marteau qui porte une pointe d'un côté, une tête étroite dirigée suivant la direction du manche de l'autre, et dont le manche est un tranchant en acier sur une certaine longueur; l'ouvrier se sert en outre d'une enclume, qui n'est autre chose qu'une lame d'acier tranchante, portant vers le milieu de sa longueur une pointe en retour d'équerre. Il implante cette queue dans les voliges, à côté de lui; puis appliquant l'ardoise sur l'enclume, en laissant dépasser ce qu'il veut couper, il trace, avec la pointe de son marteau qu'il fait glisser le long de l'enclume, une ligne apparente sur l'ardoise; il retourne son ardoise, et faisant correspondre la ligne qu'il vient de tracer au tranchant de l'enclume, à l'aide du manche de son marteau qu'il applique obliquement le long de l'enclume, il frappe à petits coups sur l'ardoise pour en détacher la partie qui dépasse la ligne tracée. Pour percer l'ardoise, il applique le point voisin du trou sur l'enclume, et d'un petit coup frappé avec la pointe de son marteau, il fait le trou. La tête du marteau lui sert à clouer les voliges et les ardoises. Les clous employés pour fixer les ardoises sont de 570 au kilogramme.

Dans les noues et sur les arêtiers, on fait usage de feuilles de métal qui pénètrent sous les ardoises voisines dans le premier cas, et qui sont placées dessus dans le second.

Quand on calcule le prix d'une couverture, il faut évaluer sa surface exacte, et ajouter 1/5 environ en sus pour les sujétions d'égouts, de faîtes, etc.; à Angers, on exploite encore des ardoises, dites anglaises, qui ont de très-grandes dimensions :

N° 1.	Longueur,	0^m,64	Largeur,	0^m,35	Pureau,	0^m,25
N° 2.	*id.*	0^m,60	*id.*	0^m,36	*id.*	0^m,26
N° 3.	*id.*	0^m,60	*id.*	0^m,31	*id.*	0^m,21

46. Les *bardeaux* sont des tuiles en bois de chêne, et quelquefois sapin; ils ont 0m,406 de longueur, 0m,135 de largeur et 0m,011 d'é-sseur; il en faut 55 pour couvrir un mètre carré de toit. On les pose comme les ardoises. L'inclinaison du toit doit être de 45° au ins, afin que l'eau n'y séjourne pas.

47. *Plomb.* Les tables de plomb employées à la couverture ont 90 de longueur sur 1m,95 de largeur, et 0m,00338 à 0m,0045 d'épais-r. Le mètre carré de couverture en plomb de 0m,00338 pèse envi- 40 kilog., et 53 kilog. pour celui de 0m,0045 (45).

Le recouvrement des feuilles, dans le sens de la longueur, varie de 081 à 0m,162; latéralement, les feuilles se relient entre elles en repliant de manière à former un ourlet. On les pose sur voliges; ur cela, on commence par placer les chéneaux qui doivent régner bas du comble, on rabat le dossier de ces chéneaux sur les voliges. dessus on fixe, par des crochets espacés de 0m,50 les uns des tres, le bas des tables; on déroule les planches en montant, et on fixe avec de forts clous traversant jusqu'à une certaine profon-ur dans les chevrons.

648. *Cuivre.* Les feuilles de cuivre ordinairement employées ont ,407 sur 1m,137, et 0m,00068 ou 0m,00075 d'épaisseur; le poids du ètre carré est de 6k,11 avec les premières feuilles et de 7k,64 avec s secondes. Le poids exprimé en livres donne le numéro des feuilles; nsi les dernières feuilles étant du n° 25, elles pèsent 25 livres ou k,24; l'épaisseur est de 4 points ou 0m,00075. Le recouvrement des uilles est de 0m,12. Les joints se font comme pour les feuilles de ic.

649. *Tôle de fer.* En Russie et en Suède, on emploie la tôle; les illes ont 0m,70 sur 0m,50 et une épaisseur de 0m,00035; elles pèsent ,08, ce qui fait 8k,80 par mètre carré (263).

Depuis le zincage de la tôle, on a fait quelques applications en ance d'ardoises en tôle ayant subi cette opération.

Deux pavillons adjacents à la grille de l'Observatoire de Paris sont uverts en ardoises de fonte de fer.

650. *Zinc.* Les assemblages doivent permettre une dilatation facile ns tous les sens. Par le haut, les feuilles se fixent sur les voliges à ide de clous en zinc; le fer doit être proscrit, parce qu'il accélère xydation. Par le bas, la feuille recouvre les clous qui fixent la uille inférieure, à laquelle elle s'agrafe par des crochets que l'on soudés sous sa face inférieure, comme l'indique la figure 16, plan-e III. Les crochets peuvent être simplement fixés par les clous de la uille inférieure, ce qui dispense de les souder (fig. 17).

Latéralement, les feuilles s'agrafent entre elles, soit par un simple rlet, comme l'indique la fig. 18, soit en redressant leurs bords que n applique contre un liteau en bois et en recouvrant le tout d'un

chapeau en zinc (fig. 19), ou encore en faisant une double agrafe recouverte d'un chapeau, sans liteau (fig. 20).

Depuis quelques années, on a fait usage d'ardoises en zinc qui ont 0m,35 à 0m,40 sur 0m,30 à 0m,35 de largeur ; elles ont la forme des tuiles pannes (fig. 15) ; elles se clouent par le haut sur les voliges et se grafent par le bas aux ardoises inférieures à l'aide de deux crochets comme l'indique la figure 16 (voir n° 267.)

SIXIÈME PARTIE.

Routes. Ponts. Canaux.

ROUTES.

1. *Divisions des routes.* On appelle *route*, la partie du sol pré-
e pour faciliter les communications par terre entre les divers
ts importants d'un pays. Lorsqu'elle a une faible étendue, et que
points qu'elle relie sont peu importants, elle prend le nom de
nin.

es routes se divisent en *routes impériales*, qui sont construites et
etenues par l'État, et en *routes départementales*, qui sont établies
ntretenues avec les fonds votés par les conseils généraux des dé-
ements.

ne route impériale est dite de *première classe* lorsqu'elle unit
is à un État voisin ou à un port militaire; de *deuxième classe*,
nd elle va de Paris à une des principales villes de France, et de
sième classe, si elle établit une communication transversale s'é-
dant sur plusieurs départements. Quelquefois les départements
tribuent à l'établissement de ces dernières.

Ine route est dite départementale lorsqu'elle unit les villes d'un
me département ou de deux départements voisins.

es chemins vicinaux sont des ramifications qui établissent les com-
inications entre les routes et les différents villages qu'elles ne tra-
sent pas. Il y a encore les *chemins ruraux*, ou de culture, établis
ns chaque commune pour faciliter le transport des engrais et des
oltes. Tous ces chemins sont entretenus par les communes in-
essées.

682. *Composition d'une route.* Une route se compose :

De la *chaussée*, partie centrale consolidée pour résister à l'action destructive des pieds des chevaux et des roues de voitures ;

Des *accotements*, parties servant à consolider la chaussée de chaque côté, et destinées au passage des piétons et même des voitures pendant la belle saison ;

3° Des *fossés* destinés à donner écoulement aux eaux pluviales, ou même à les [illegible] si les localités ne permettent pas de leur donner écoulement; on [illegible] dans ce dernier cas, ils doivent être plus grands que dans le premier.

Dans le département de la Moselle, outre la chaussée de [illegible] de largeur, les accotements, qui n'ont que 1 mètre de largeur [illegible] et les fossés de $1^{m},50$, on a disposé entre un accotement et le [illegible] voisin un trottoir de $1^{m},50$ de largeur pour les piétons. Ce trottoir est établi à $0^{m},20$ au-dessus de l'accotement, ce qui fait qu'il [illegible] jamais dégradé par les voitures. De l'autre côté de la route [illegible] posé, entre l'accotement et le fossé, des emplacements de [illegible] de largeur pour approvisionner les matériaux d'entretien.

Si la route, au lieu d'être en tranchée, est en remblai, on [illegible] les fossés par des talus dont l'inclinaison est de 1,5 de base [illegible] de hauteur.

683. *TABLEAU des dimensions des différentes parties des routes.*

DÉSIGNATION des routes.	LARGEUR			
	de la chaussée (a).	de chaque accotement.	de chaque fossé (b).	totale [illegible] les fossés (c)
Routes impériales des trois classes.	$7^{m}.00$ à $5^{m}.00$	$3^{m}.50$ à $2^{m}.50$	$1^{m}.50$	$14^{m}.00$ à [illegible]
Routes départementales.	5. 00 4 .00	2 .50 2 .00	1 .50	10 .00 [illegible]
Chemins vicinaux de grande communicat.	5 .00 3 .00	2 .00 1 .50	1 .00	8 .00 [illegible]

(*a*) La largeur 5 mètres est un peu faible pour les routes impériales.
(*b*) La profondeur des fossés est ordinairement de $0^{m},50$.
(*c*) Près de Paris, la largeur totale, non compris les fossés, atteint quelquefois jusqu'à 20 mètres.

684. *Pentes de la surface de la route.* La ligne tracée au milieu de la surface de la chaussée est l'*axe* de la route; l'intersection de la route par un cylindre vertical passant par l'axe est le *profil en long*, et une section faite par un plan perpendiculaire à l'axe est un *profil en travers* (*Int.*, 1275).

Transversalement, la chaussée se profile suivant un arc de cercle dont la flèche est ordinairement le 1/50 de la corde; il en résulte une pente suffisante pour donner écoulement à l'eau, sans cesser de permettre aux voitures de circuler partout, ce qui évite les ornières. Dans les villes, les rues ont à peu près le même profil entre les ruisseaux. La pente des accotements est en général réglée à [illegible] par mètre.

ı route est établie sur le penchant d'un coteau, de manière à : précipice d'un côté, on incline toute la surface de la route vers ıtagne. Le plus souvent, afin d'éviter encore plus sûrement les nts, du côte de la vallée, on borde la route d'un petit mur ou ›ourrelet en terre couvert de gazon. Un fossé établi du côté de la ıgne reçoit les eaux de celle-ci et de la route, pour les déverser ité de la vallée, si cela est nécessaire, par des petits aqueducs nt sous la route.

rsque la route suit le revers d'un coteau, pour éviter, autant ›ossible, les déblais et remblais, on prend les déblais du côté de ontagne pour former les remblais du côté de la vallée ; mais il e quelquefois, pour éviter des sinuosités trop prononcées, que est obligé de faire entièrement la route en tranchée ; dans ce cas, leux revers de la chaussée sont inclinés vers l'axe pour y amener aux, on fait la chaussée plus large, et l'on supprime les accotements s fossés si la tranchée est profonde, ce qui diminue considérament les déblais.

i la tranchée a peu de longeur et peu de profondeur, on ne supne que les fossés ; on incline les accotements vers la chaussée, et le-ci vers les accotements, ce qui produit sur chacun de ses côtés ruisseau pour recevoir les eaux.

Suivant l'axe de la route, la pente maximum est fixée à $0^m,05$ par tre. Quant à la pente minimum, on est porté à croire que, pour la ilité des transports, la route doit être horizontale ; mais comme, lgré la pente transversale, l'eau séjourne encore dans les sillons que ssent les roues des voitures, il convient, pour le bon état de la route, par suite pour la facilité du tirage des voitures, qu'elle ait une innaison longitudinale d'au moins $0^m,005$ par mètre ; cette inclinaison ffit pour que l'eau suive l'ornière, et s'accumule en différents points assez grande quantité pour rompre le bourrelet de l'ornière et prenc un écoulement latéral.

855. *Influence de la pente longitudinale des routes sur le tirage des itures.* Sur une route horizontale on a

$$R = kP.$$

force de traction ;
charge totale traînée, voiture comprise ;
rapport de la force de traction à la charge traînée (44, 60 et 500).

Théoriquement, sur une route en pente, on a sensiblement (488)

$$R = kP + P \sin \alpha.$$

angle que fait la route avec l'horizon. α étant très-petit, on peut prendre tangente α, c'est-à-dire la pente, pour $\sin \alpha$, qui alors varie de $0^m,005$ à $0^m,05$.

Les expériences de M. Gordon, *dont le tableau suivant donne les ré-*

sultats, prouvent que la pratique ne s'accorde pas avec la formule précédente.

PENTE PAR MÈTRE.	VALEUR THÉORIQUE de P, pour une même valeur de R.	VALEUR PRATIQUE de P, pour une même valeur de R.	DIFFÉRENCE.
m.			
0.000	44.000	44.000	0.000
0.005	8.800	»	»
0.010	7.333	9.900	2.567
0.020	5.500	8.355	2.855
0.030	4.400	»	»
0.040	3.667	»	»
0.050	3.143	5.859	2.716

Les valeurs théoriques de P consignées dans ce tableau sont calculées dans l'hypothèse de $k = 0{,}02$, d'où il résulte que l'on a $R = 0{,}02 \times 44 = 0{,}22$.

On ne peut attribuer ce grand avantage de la pratique sur la théorie qu'au meilleur état dans lequel se trouve la route à mesure qu'elle est plus inclinée (654), ce qui diminue la valeur de *k*.

686. *Direction d'une route.* La direction d'une route est déterminée par la position des points principaux qu'elle doit relier, sans avoir égard à la position des points intermédiaires. Le tracé consiste à fixer, soit sur le terrain, soit sur un dessin, la position de tous les points de l'axe de la route, en s'assujettissant à passer par les points qui ont déterminé la direction.

Une route doit traverser le plus grand nombre possible de lieux habitées, et surtout commerciaux et manufacturiers, ou en approcher le plus possible, afin de les faire participer aux avantages qu'elle procure. C'est donc d'après des considérations commerciales ou militaires que l'on fixe la direction d'une route ; ce qui ne peut être que du ressort de l'administration. Mais comme, aux considérations d'utilité publique, il faut joindre l'économie d'exécution, généralement l'art doit être consulté ; ainsi, par exemple, si la route doit traverser un cours d'eau, c'est à l'ingénieur à fixer le point où il sera le plus économique de le passer, en ayant égard à toutes les dépenses et à l'éloignement de la direction fixée par l'utilité. C'est surtout quand la route doit franchir une chaîne de montagnes, que l'ingénieur doit intervenir, pour déterminer le point le plus bas du faîte, afin de diminuer autant que possible les frais de tranchée et rendre les communications faciles.

687. *Considérations générales sur la détermination du point bas d'une chaîne de montagnes.* Pour déterminer le point minimum du faîte d'une chaîne de montagnes, afin de ne pas se jeter dans des ni-

ements fort pénibles et très-dispendieux, surtout dans les pays -accidentés (*Int.*, 1277), on se guidera par les considérations suites, déduites de principes posés par M. Brisson.

n considérant une portion assez étendue d'un continent, on y arque des chaînes de montagnes et des cours d'eau, et si l'on exae attentivement une de ces chaînes, on s'aperçoit qu'il est pose de tracer sur sa crête une ligne telle, que les eaux qui s'y rédent s'écoulent en partie sur l'un des versants et en partie sur tre. Lorsque ces eaux coulent dans deux fleuves différents, cette e, qui part des côtes de la mer, de part et d'autre de l'embourre du fleuve, et qui contourne complétement ce fleuve en passant ı source, prend le nom de *faîte.*

a portion de pays enveloppée par le faîte prend le nom de *bassin.*
e fleuve suit nécessairement la ligne formée par tous les points les s bas. Cette ligne prend le nom de *talweg*, mot qui signifie cheı de la vallée.

.e fleuve divise le bassin en deux parties inclinées. La partie cée à droite du fleuve prend le nom de *versant droit*, et celle qui trouve à gauche, celui de *versant gauche.* La droite du fleuve se uve à droite de la personne qui descend son cours, c'est-à-dire va l'*amont* à l'*aval*, et la gauche à sa gauche.

La division la plus naturelle d'un pays est celle en bassins, désiés chacun par le nom du fleuve qui en reçoit les eaux. On emie cette division pour les affaires qui ont rapport à la navigation; si l'on distingue les bassins de la Meuse, du Rhin, de la Seine, de Garonne, du Rhône, etc.

Comme des nivellements seuls peuvent faire reconnaître la vériıle position des faîtes, il en résulte que la division en bassins n'a nais eu d'application politique ni administrative.

Aux chaînes de montagnes dont les faîtes séparent les bassins, et e l'on appelle *chaînes principales*, s'en rattachent d'autres appes *chaînes secondaires*, dont les faîtes sont à peu près perpendicures à celui de la chaîne principale, et à ces chaînes secondaires rattachent des *chaînes tertiaires*, dont les faîtes sont à peu près rpendiculaires à ceux des chaînes secondaires, et par conséquent rallèles à celui de la chaîne principale.

Deux chaînes tertiaires voisines sont séparées par un talweg qui ıène les eaux des versants tributaires dans le talweg qui sépare deux chaînes secondaires voisines, et ce talweg secondaire conit les eaux qui y affluent dans le talweg principal. Ces relations, i existent entre les talwegs et les chaînes de montagnes, et les nsidérations suivantes, peuvent servir à déterminer *à priori*, à ide d'une bonne carte, non-seulement la position d'un faîte, mais

4° *Profil en long.*

NUMÉROS des piquets. 1	DISTANCES des piquets. 2	COUPS de niveau. 3	MOYENNES avant. 4	MOYENNES arrière. 5	DIFFÉRENCES positives. 6	DIFFÉRENCES négatives. 7	COTES. 8	[illegible] 9
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	
1 (*)	»	1.204 1.196	»	1.200	»	»	100.000	(*) [illegible]
2	38.40	1.798 1.804	1.801	»	0.601	»	100.601	
		1.784 1.778	»	1.781	»	»	»	
3	32.75	2.397 2.403	2.400	»	0.619	»	101.220	
		0.854 0.846	»	0.850	»	»	»	
4	28.45	2.217 2.223	2.220	»	1.370	»	102.590	
		1.807 1.799	»	1.803	»	»	»	
5	29.40	0.496 0.502	0.499	»	»	1.304	101.286	Vérification [illegible]
Totaux.	129 00		6.920	5.634	2.590	1.304.		[illegible]

Pour obtenir les nombres de la 4ᵉ et de la 5ᵉ colonne, on se place avec le niveau à peu près au milieu de l'intervalle qui sépare deux piquets successifs, et l'on appelle *coup arrière* le nombre indiqué par la personne qui tient la mire lorsqu'on regarde du côté du point de départ, et *coup avant* le nombre indiqué par la personne qui tient la mire lorsqu'on regarde en avant; ainsi dans les exemples du tableau précédent, le niveau étant placé entre les piquets 1 et 2, les coups arrière et avant sont respectivement 1ᵐ,200 et 1ᵐ,801; entre les piquets 2 et 3, ces coups sont 1ᵐ,781 et 2ᵐ,400, etc. Comme chaque coup avant ou arrière se prend deux fois, en tournant la lunette bout pour bout et en amenant le dessus en dessous (*Int.* 1268), chacun des nombres des 4ᵉ et 5ᵉ colonnes sont les moyennes des deux nombres correspondants de la troisième colonne.

Les différences entre les nombres de la 4ᵉ colonne et ceux de la 5ᵉ qui précèdent immédiatement s'écrivent dans la 6ᵉ ou la 7ᵉ colonne, selon que les premiers nombres sont plus grands ou plus petits que les seconds.

ıt aux nombres de la 8e colonne, qui expriment les distances férents points du sol où se trouvent les piquets au-dessous du orizontal de comparaison, pour le piquet n° 1, on prend la cote tres, ou tout autre nombre tel que l'horizontale menée à la r qu'il exprime passe au-dessus des plus hautes montagnes ›n peut avoir à traverser. Pour avoir ensuite les cotes des s successifs, à la cote 100 mètres du point de départ ou à la re cote obtenue, l'on ajoute la différence correspondante de la nne, ou on en retranche la différence correspondante de la nne. Ainsi la cote du 2e piquet est 100,000+0,601=100m,601, du piquet n° 5 est 102,590—1,304=101m,286.

nairement le tableau précédent est imprimé sur le recto seulees feuilles d'un registre, et le verso remplace la colonne des ations.

ieu de prendre le plan de comparaison au-dessus des points les levés de la surface du sol, on peut le prendre au-dessous des les plus bas (*Int.*, 1253).

r les profils en travers on opère de la même manière que dans le écédent, et l'on dispose les résultats comme l'indique le tableau ıt. La partie droite de ce tableau comprend les piquets *a*, *b*, *c*, de chaque profil, placés à droite de la ligne d'opération; la partie e comprend les piquets *a'*, *b'*, *c'*, etc., placés à gauche de cette ligne, *a* et *a'* sont les premiers piquets à partir de la ligne ation, *b* et *b'* sont les seconds, et ainsi de suite.

l'on soit à droite ou à gauche de la ligne d'opération, on concomme point de départ, pour chaque côté, le piquet de la ligne ation. Il convient de remarquer que cela n'oblige pas de comr le nivellement par ce piquet, mais qu'il faut se rappeler que le rrière se donne toujours en regardant vers ce piquet, et le coup en lui tournant le dos. En commençant à une extrémité d'un on ne peut calculer les cotes des piquets que quand on est au piquet de la ligne d'opération, ce qui est du reste sans innient (*Int.*, 1275).

2° *Profils en travers.*

GAUCHE.						PIQUETS de la ligne d'opération en profils en travers.	DROITE.					
OBSERVATIONS.	COTES.	COUPS avant.	COUPS arrière.	DISTANCES des piquets.	PIQUETS des profils.		PIQUETS des profils.	DISTANCES des piquets.	COUPS arrière.	COUPS avant.	COTES.	[illegible]
	m 100.00					1					m [illegible]	
		m 1.40	m 1.20	m 4.00				m 3.00	m 1.05	m 1.50		
(*) Nature du terrain, difficultés d'exécution, etc.	100.20				a'(*)		a(*)				[illegible]	(*) [illegible]
		1.70	1.24	3.46				2.50	1.00	1.50		
	100.66				b'		b				[illegible]	
		1.78	1.14	5.54				4.50	1.25	2.05		
	101.30				c'		c				[illegible]	
								3.16	1.16	[illegible]		
							d				[illegible]	
								5.25	1.03	[illegible]		
							e				[illegible]	
	100.60					2					[illegible]	
		1.55	1 33	3.17				2.16	1.11	1.71		
	100.82				a'		a				[illegible]	
		1.59	1.45	4.09				3.40	1.44	1.25		
	100.96				b'		b				[illegible]	
		1.70	1.55	5.34				6.40	1.30	1 25		
	101.11				c'		c				[illegible]	
	101.22					3					[illegible]	

On opérerait de la même manière pour le profil 3 et pour tous les autres que pour les profils 1 et 2. Il est à remarquer que les piquets placés sur la ligne d'opération portent les même cotes que sur le tableau du profil en longueur.

Cotes de points intermédiaires. Le sol entre deux piquets successifs doit avoir une pente uniforme ; de sorte que, ayant les cotes [illegible] deux piquets successifs A et B, éloignés entre eux de la quantité d, la cote c'', d'un point intermédiaire situé à la distance d' du piquet A sera donnée par la formule (*Int.*, 1280)

$$c'' = c + \frac{d'}{d}(c' - c).$$

u contraire on voulait avoir la valeur de d' correspondant à une .onnée c'', on aurait

$$d' = d\frac{c''-c}{c'-c}.$$

aide des résultats des deux tableaux précédents, on établira le de la zone de terrain nivelée; on dessinera un profil en long nt la ligne d'opération, et sur ce profil on rapportera une ligne uant la position de l'axe de la route (*Int.*, 1276). Cet axe, d'après sition par rapport à la surface du sol, donnera un aperçu des tités de déblais et de remblais à faire, de la distance des trans-, et par conséquent des points où il conviendra de modifier le pre-profil. Les cotes indiquées sur les profils feront prévoir de combien ıvient de reporter l'axe de la route à droite ou à gauche de la d'opération, pour avoir le moins possible de déblais et de rem-, et pour que les déblais compensent les remblais avec la moindre .nce de transport. Dans ces modifications du premier profil, il ne pas perdre de vue que la route doit toujours offrir un aspect agréa-t par conséquent être d'une pente autant que possible uniforme, voir le moins possible de contours. Ce n'est que la raison d'éco-ie qui fait s'écarter du premier profil que l'œil a choisi comme ıissant le mieux toutes ces conditions.

n fois que l'on a obtenu un profil satisfaisant, on l'arrête sur le n de la zone nivelée par une ligne rouge représentant la position l'axe de la route. Sur le profil en long, l'axe de la route se repré-te par une ligne rouge avec un petit liséré rouge, et la surface du par une ligne noire avec liséré noir ; cette ligne noire est supposée ite entre les différents points nivelés. La ligne figurant le plan hori-tal de comparaison, ainsi que celles représentant les cotes des points ıarquables du terrain et de la route, se font en lignes noires ntées.

ne fois le profil en long dessiné à une échelle convenable, de)02 à 0^m,001 ou moins encore par mètre pour les longueurs, et de)05 à 0^m,01 pour les cotes du terrain et de l'axe de la route, on fait essin des profils en travers, que l'on étend de part et d'autre de pace que doit occuper la route. Sur chacun de ces profils on dessine ui de la route, y compris les fossés et les talus. Ces profils, que l'on t à une échelle de 0^m,005 à 0^m,01 pour mètre, se placent ordinaire-nt sur la même feuille que le profil en long, en regard des points i leur correspondent, ce qui facilite les comparaisons ; quelquefois les dessine sur une feuille séparée, en les éloignant de 0^m,10 à ,12, afin d'éviter toute confusion. Comme pour le profil en long, la rface du sol se représente par une ligne noire avec liséré noir, celui la route et des fossés ou talus par une ligne rouge avec liséré uge, et la ligne indiquant le plan de comparaison, ainsi que celles

représentant les cotes des points remarquables du profil, par les lignes noires pointées (519).

Pour dessiner exactement ces derniers profils, il conviendrait de faire de nouveaux nivellements ; mais ordinairement on peut les établir à l'aide des cotes fournies par les premiers nivellements.

659. *Cotes rouges. Points et lignes de passage.* On appelle cotes rouges les distances verticales des points de la surface du sol aux points correspondants de la surface du projet. Ainsi l'on déterminera une cote rouge à l'aide d'une simple soustraction, quand on connaîtra les cotes du terrain et du projet au point considéré.

Les cotes des points remarquables du terrain sont données par les nivellements, et celles des points intermédiaires par la formule page [illegible]. Ayant les cotes de la surface du projet, cette même formule servira également à déterminer la cote d'un point intermédiaire.

Si l'on avait la cote du projet en un point, pour avoir la cote d'un autre point relié au premier par une pente uniforme, et situé à une certaine distance, on ajouterait à la cote du premier point ou on en retrancherait, suivant que la pente serait descendante ou ascendante, le produit de la pente par mètre par la distance horizontale des deux points. Si la pente n'était pas uniforme entre les deux points, on déterminerait successivement les cotes des points intermédiaires d'inflexion, et du dernier de ces points on passerait au point considéré.

On appelle *point de passage*, le point où la ligne du projet rencontre celle du terrain, pour passer de dessus en dessous, ou réciproquement. Ayant les cotes rouges c et c' sur deux verticales A et B reliées par des pentes uniformes et éloignées entre elles d'une distance d, on aura la distance d' de la verticale A au point de passage à l'aide de la formule

$$d' = \frac{d \times c}{c + c'}.$$

$d'' = d - d'$ sera la distance du point de passage à l'autre verticale B ; on pourrait du reste la calculer de la même manière que d'.

Les distances d, d' et d'' sont comptées ensemble suivant la surface du sol, ou celle du projet, ou encore horizontalement.

Lorsque la surface du projet, après avoir été au-dessous du sol, passe au-dessus, ou réciproquement, elle recontre la surface de ce dernier suivant une ligne continue que l'on appelle *ligne de passage*. Cette ligne se détermine par points, en cherchant les points de passage qui ont lieu sur différents plans verticaux menés parallèlement à l'axe de la route ; ces plans se mènent par tous les sommets des angles rentrants ou saillants des surfaces du sol et du projet (660).

660. *Calculs des déblais et remblais.* Après avoir fixé la position de la route et fait tous les profils en travers, il convient de se rendre

pte des volumes de déblais et de remblais qu'exige le projet adopté, de modifier ce projet si les déblais ne compensent pas convena-ıent les remblais, et de se rendre compte du prix de revient des aux.

: travail, qui n'offre aucune difficulté, du reste, exige que l'on ède avec ordre, et que l'on dispose convenablement les diffé-s résultats. Pour cela, on commence par considérer les inter-:s des profils consécutifs comme étant indépendants les uns des es, et l'on calcule les volumes de déblais et de remblais compris e deux profils en opérant de la manière suivante :

ient 1 et 2, fig. 21, pl. III, deux demi-profils consécutifs. On ıe des plans verticaux parallèles à l'axe de la route par tous les les saillants et rentrants que présentent les profils de la route et terrain. Ces divers plans divisent les cubes, de formes plus ou ns bizarres, de déblais et de remblais, en solides d'une assez grande ılarité pour qu'on puisse les évaluer avec une exactitude suffi-te.

près avoir mené ces divers plans, on détermine, s'il y a lieu, t-à-dire si ces plans coupent à la fois une partie en déblai et une tie en remblai, les divers points de passage (659), et en réunissant points par des droites, on obtient les lignes de passage *iki'lmno* ›qr de la surface du projet sur la surface du sol. Cela fait, après ir préparé le tableau suivant, on considère les solides *a* et *a'* dé-ıés par le premier plan parallèle à l'axe. Le solide *a* est une pyra-e, désignée par pyramide *a* dans la deuxième colonne du tableau, a pour base sa section *stu* sur le profil 1, et pour volume, cette : multipliée par le tiers de sa hauteur $31^m,61$, distance du point ›assage *k* au profil 1. Le triangle *stu* peut être considéré comme nt pour hauteur la largeur $1^m,75$, que l'on place dans la troisième ınne du tableau, et pour base la cote rouge $1^m,68$; on prend la tié $0^m,84$ de cette cote rouge, on l'inscrit dans la quatrième co-ıe du tableau, et le produit $1^m,75 \times 0,84 = 1^m,47$ est la surface de ase de la pyramide (*Int.*, 636); on l'écrit dans la cinquième co-ne. On prend le tiers $10^m,54$ de la hauteur $31^m,61$ de la pyramide, inscrit ce tiers dans la sixième colonne du tableau, et le produit ' $\times 10,54 = 15^{mc},49$ est le volume de la pyramide (*Int.*, 844); on rit dans la septième colonne. On opère de la même manière pour ›yramide *a'* et pour celles *e'* et *g'*, en plaçant les cubes dans la ième ou la huitième colonne du tableau, selon que la pyramide en déblai ou en remblai.

our le solide se projetant suivant le trapèze *b*, et inscrit trapèze *b* s la deuxième colonne du tableau, on le considère comme ayant r base le trapèze *tuvx*. Ce trapèze a pour hauteur la largeur $0^m,50$, l'on inscrit dans la troisième colonne, et pour base moyenne la

hauteur moyenne $\frac{1.68 + 1.66}{2} = 1^m,67$, que l'on place dans la quatrième colonne ; le produit $0,50 \times 1,67 = 0^{mq},84$ est la surface de la base du solide *b* (*Int.*, 640). Pour avoir son volume, on remarque qu'on peut le considérer comme étant équivalent à la moitié d'un prisme ayant même base et une hauteur égale à la moyenne $\frac{31.61 + 29.20}{2} = 30^m.405$, ou à un prisme ayant même base et une hauteur égale à $\frac{30.[illegible]}{2} = 15^m.[illegible]$, que l'on écrit dans la sixième colonne. Le produit $0.84 \times 15.[illegible] = 12^m,69$ est le volume du solide *b* (*Int.*, 842) ; on l'inscrit dans la huitième colonne. On opère de la même manière pour cuber les solides *b'*, *c*, *c'*, *d*, *d'*, *e*, *g*, *h* et *h'*.

Le solide se projetant suivant le rectangle *f* a une base sur chaque profil, et peut être considéré comme étant équivalent à un prisme ayant pour base la moyenne des bases du solide *f*, et pour hauteur celle de ce solide, c'est-à-dire la distance des deux profils. La base située sur le profil 1 est égale à $1,35 \frac{0,68}{2}$, et celle située sur le profil 2, à $1,35 \frac{0,35}{2}$; la moyenne de ces surfaces est $1,35 \frac{0,68 + 0,35}{4} = 1,35 \times 0,26 = 0^m,35$; on placera donc $1^m,35$ dans la troisième colonne du tableau, $0^m,26$ dans la quatrième, $0^{mq},35$ dans la cinquième et 35 mètres dans la sixième ; le produit $0^m,35 \times 35 = 12^m,29$ est le volume du solide. Si ce solide, au lieu d'avoir des bases triangulaires, avait des bases trapézoïdales ou une base triangulaire et une base trapézoïdale, on opérerait d'une manière semblable ; ainsi, les deux bases étant des trapèzes, en représentant les cotes rouges par *a*, *b*, *c* et *d*, pour une même largeur $1^m,35$, la base moyenne serait

$$1,35 \, \frac{a + b + c + d}{4}.$$

Si l'une des bases était un triangle, c'est-à-dire si *d* était nul, la base moyenne serait

$$1,35 \, \frac{a + b + c}{4}.$$

Dans tous les cas, la base moyenne multipliée par la distance des profils donne le cube du solide.

Tous les volumes des déblais et remblais que l'on peut avoir à évaluer peuvent toujours se décomposer en des solides semblables à ceux que nous venons d'examiner, et que nous avons distingués en pyramides, trapèzes et rectangles.

TABLEAU des calculs des déblais et remblais.

… les solides.	INDICATION des solides.	BASES ou profils des solides. Largeur.	Hauteur.	Surface.	LONGUEURS des solides.	CUBES en déblai.	en remblai.	OBSERVATIONS.
		m.	m	m. c.	m.	m. c.	m. c.	
1	Pyramide *a*.	1.75	0.84	1.47	10.54	15.49	»	Nature du sol, etc.
	Pyramide *a'*.	0.75	0.09	0.07	1.13	»	0.08	
	Trapèze *b*.	0.50	1.67	0.84	15.20	12.69	»	
	Trapèze *b'*.	0.50	0.26	0.13	2.30	»	0.30	
	Trapèze *c*.	0.45	1.43	0.64	13.57	8.73	»	
	Trapèze *c'*.	0.45	0.38	0.17	3.93	»	0.67	
	Trapèze *d*.	0.70	1.17	0.82	13.46	11.00	»	
	Trapèze *d'*.	0.70	0.34	0.24	4.04	»	0.96	
	Trapèze *e*.	0.95	0.92	0.88	15.94	14.03	»	
	Pyramide *e'*.	0.95	0.13	0.12	2.08	»	0.25	
	Rectangle *f*.	1.35	0.26	0.35	35.00	12.29	»	
	Trapèze *g*.	1.70	0.58	0.99	12.99	12.81	»	
	Pyramide *g'*.	1.70	0.43	0.73	6.01	»	4.39	
	Trapèze *h*.	1.30	0.70	0.91	6.74	6.13	»	
	Trapèze *h'*.	1.30	1.18	1.53	10.76	»	16.51	
2	Totaux.				. . . .	93.47	23.46	

On continuerait de la même manière pour l'autre portion comprise ntre les profils 1 et 2. On ne ferait les totaux qu'après avoir calculé out ce qui sépare deux profils, et l'on continuerait le tableau pour ce ui est intercepté par les profils 2 et 3, puis 3 et 4, et ainsi de suite.

661. *Méthode expéditive pour calculer les déblais et remblais.* A noins qu'il ne s'agisse de volumes considérables ou d'un sol difficile attaquer, on peut généralement suivre la méthode que nous allons xposer :

1° La route étant complétement en déblai ou en remblai sur les deux profils, le volume D de déblai ou R de remblai se calcule, comme pour le solide désigné par rectangle *f*, dans la méthode précédente, c'est-à-dire en considérant ce volume comme étant équivalent à celui d'un prisme droit ayant pour hauteur la distance des deux profils, et pour base une moyenne arithmétique entre les surfaces des deux profils.

Ainsi, S étant la surface d'un profil, *s* la surface de l'autre profil et *d* la distance de ces profils, on a

$$\text{D ou R} = \frac{S + s}{2}\, d.$$

Il n'est pas nécessaire que les déblais ou remblais aient la même largeur sur les deux profils.

2° Si la surface S d'un des profils était complétement en remblai et celle s de l'autre profil complétement en déblai, on supposerait que la distance moyenne d' de la ligne de passage à l'un des profils, à celui en remblai, par exemple, est donnée par la formule du n° 955, dans laquelle les cotes rouges c et c' sont remplacées par les surfaces S et s; on aurait

$$d' = \frac{d \times S}{S + s}.$$

La distance moyenne d'' de la ligne de passage à l'autre profil peut se calculer de la même manière que d', mais on l'obtient en remarquant que l'on a $d'' = d - d'$.

Avant d', on calculerait le cube R du remblai de la même manière que celui du solide désigné par trapèze b dans la méthode précédente (page 965), c'est-à-dire en le considérant comme étant équivalent à la moitié d'un prisme ayant même base S et même hauteur d', ou encore à un prisme ayant S pour base et $\frac{d'}{2}$ pour hauteur; ainsi, l'on aurait

$$R = S\frac{d'}{2}.$$

Pour les mêmes raisons, on aurait

$$D = s\frac{d''}{2}.$$

3° Si l'un des profils était complétement en déblai ou en remblai, et que l'autre fût partie en remblai et partie en déblai, par le point de rencontre des remblais et des déblais sur ce dernier profil, on mènerait un plan parallèle à l'axe de la route; ce plan diviserait ce qui sépare les deux profils en deux parties : l'une complétement en déblai ou en remblai, et que l'on évaluerait comme au 1°; l'autre en déblai sur un profil et en remblai sur l'autre, et que l'on évaluerait comme au 2°.

4° Si les profils étaient tous deux partie en déblai et partie en remblai, mais que les parties en déblai et en remblai fussent correspondantes sur les deux plans, sans pour cela avoir la même largeur, on calculerait le cube des déblais, ainsi que celui des remblais, comme au 1°.

5° Enfin, si les profils comprennent des parties en déblai et des parties en remblai, mais ne se correspondant pas sur les deux profils, ce qui est le cas de la figure 21, planche III, pour lequel nous avons formé le tableau page 967, on considère la première surface s

profil 1, qui est en déblai, et la première surface S du profil 2, qui en remblai, et l'on calcule les cubes de déblai et de remblai qui rrespondent à ces surfaces comme au 2°. Considérant ensuite la conde surface S′ du profil 1, qui est en remblai, et la seconde surface s' du profil 2, qui est en déblai, on calcule également le déblai le remblai comme au 2°.

Afin de donner une idée de la marche à suivre pour calculer les déblais et remblais, et de la manière de disposer les résultats dans les différents cas que nous venons d'examiner, nous allons former le tableau suivant pour le cas du 5°, c'est-à-dire pour la figure 21.

On considère d'abord la partie qui correspond aux premières surfaces s et S; c'est ce que l'on indique dans la deuxième colonne du tableau. On calcule ensuite la surface en déblai s en évaluant, d'après les largeurs interceptées entre les différentes cotes rouges menées aux points remarquables du projet et du sol, et les valeurs de ces cotes, les surfaces partielles interceptées par ces cotes; les largeurs partielles s'inscrivent dans la troisième colonne du tableau; dans la quatrième colonne, on place les cotes rouges, ou mieux les valeurs par lesquelles il faut multiplier les largeurs pour avoir les surfaces partielles; ces surfaces partielles s'inscrivent dans la cinquième colonne. La surface totale $s = 5^{mc},10$ s'inscrit au bas des surfaces partielles. On calcule de même manière la surface en remblais $S = 0^{mc},73$.

Ayant les surfaces des déblais et des remblais, la distance moyenne de la ligne de passage au profil 1 est, d'après ce qui a été dit au 2°, d étant égale à 35 mètres,

$$d' = \frac{35 \times 5,10}{5,10 + 0,73} = 30^{m},62.$$

$\frac{30^{m},62}{2} = 15^{m},31$ est la longueur du prisme droit ayant s pour base, et dont le volume est équivalent à celui du déblai; on inscrit $15^{m},31$ dans la sixième colonne du tableau.

Le cube du déblai est $5,10 \times 15,31 = 78^{m.cub.},08$; on l'écrit dans la septième colonne.

La distance moyenne d'' de la ligne de passage ou profil 2 est $35 - 30,62 = 4^{m},38$, dont la moitié est $2^{m},19$, nombre que l'on pose à la sixième colonne.

Le cube de remblai est alors $0,73 \times 2,19 = 1^{m.cub.},60$, nombre que l'on inscrit dans la huitième colonne,

En opérant de la même manière entre S′ et s', on trouve que le volume du remblai y est $20^{mc},23$, et celui du déblai $18^{mc},13$.

Faisant les totaux des cubes en déblai et des cubes en remblai, on trouve respectivement $96^{mc},21$ et $21^{mc},83$, nombres différant peu de ceux $93^{mc},17$ et $23^{mc},16$ trouvés par la méthode exacte (tableau page 967).

PROFILS comprenant les solides.	INDICATION des solides.	BASES ou profils des solides.			LONGUEURS réduites.	CUBES		[illegible]
		Largeurs partielles.	Hauteurs.	Surfaces.		en déblai.	en remblai.	
1	De *s* en S.	m 1.75 0.50 0.45 0.70 2.30	m 0.84 1.67 1.43 1.17 0.58	m 1.47 0.84 0.64 0.82 1.33				[illegible]
		Surf. en déblai *s*.		5.10	m 15.31	m 78.08		
		1.70 1.65	0.22 0.22	0.37 0.36				
		Surf. en remblai S.		0.73	2.19		m 1.60	
	De S′ en *s*′.	3.00	0.75	2.25				
		Surf. en remblai S′.		2.25	8.99		20.23	
		3.05 1.30	0.40 0.70	1.22 0.91				
		Surf. en déblai *s*′.		2.13	8.51	18.13		
2		Totaux.				96.21	21.83	

662. *Méthode approximative pour calculer les déblais et remblais lors de l'étude du projet.* Dans ce cas, afin d'abréger les calculs, on ajoute la surface totale en déblai sur un profil à la surface totale en déblai sur l'autre profil ; cette somme, multipliée par la demi-distance des profils, donne le volume du déblai ; on calcule de la même manière le cube du remblai. On voit que dans cette méthode les solides aboutissant à des lignes de passage sont supposés se prolonger d'un profil à l'autre, ce qui tend à donner des volumes plus forts ; mais il vaut mieux obtenir des volumes péchant en plus qu'en moins.

663. *Calcul des déblais et remblais dans les parties courbes.* Dans ce cas, on opère de la même manière que pour une partie droite ; seulement, au lieu de partager les déblais et remblais par des plans verticaux parallèles à l'axe, on les divise par des surfaces cylindriques verticales engendrées par une droite verticale qui se meut en s'appuyant sur des courbes concentriques à l'axe de la route. C'est sur ces directrices que se mesurent les distances des profils, et que l'on calcule les points et les lignes de passage.

on des courbes. Sur une route, le rayon minimum de la courbe cordement passant par l'axe varie de 20 à 25 mètres. Cela suffit culation, sur une chaussée de 5 mètres, d'une voiture de 23 mè e longueur, attelage compris, et de 1m,80 de largeur comptée hors en dehors du bandage des roues. Ce rayon varie ordinaire- de 50 à 100 mètres (460).

Évaluation des distances de transport. La dépense occasionnée s terrassements dépend non-seulement des volumes de déblais remblais, mais aussi de la distance de transport, distance que oit par conséquent chercher à diminuer, autant que possible, en nt des chemins convenables.

distance moyenne de transport ne peut être moindre que la dis- e du centre de gravité du déblai à celui du remblai ; elle est son- plus grande, quand, par exemple, on est assujetti à faire passer les nins de transport en des points déterminés, et aussi dans les cas ogues à celui où le déblai est pris au centre du remblai. Dans les ordinaires de la pratique, on peut prendre comme distance moyenne ransport la distance des centres de gravité.

existe plusieurs méthodes pour se rendre compte des dépenses du nsport dans un projet de route, de chemin de fer ou de canal, mais plus exacte, celle qui rend le mieux compte de tous les détails du nsport, est la méthode graphique que nous allons exposer.

oient 1, 2 et 3, fig. 22, planche III, trois profils successifs, entre les- ls il s'agit de se rendre compte de la nature du transport des terres. ur cela, on trace une ligne indéfinie AB; sur cette ligne, on prend points *a*, *b*, *c* espacés entre eux de quantités proportionnelles écartements des profils ; ces écartements se prennent à une elle de 0m,001 à 0m,002 pour mètre ou même à une échelle plus nde, afin de pouvoir mesurer assez approximativement les dis- ces, ce qui dispense, dans divers cas, de faire des calculs assez longs. x points *a*, *b*, *c* on mène des perpendiculaires à AB, au-dessus et dessous de cette ligne ; sur ces perpendiculaires, au-dessus de AB, prend, à une échelle de 0m,005 pour mètre, des longueurs propor- nnelles aux surfaces en déblai des profils correspondants ; sur ces mes perpendiculaires, on prend, en dessous de AB, et à la même ielle, des longueurs proportionnelles aux surfaces en remblai des ofils.

Ainsi, sur le profil 1, la surface en déblai étant 15mq,50, et la surface remblai 8mq,46, on prend *ad* égal à une longeur représentant 15m,50, *ae* égal à 8m,46. Sur le profil 2, les surfaces en déblai et en remblai nt respectivement 7mq,40 et 3mq,50, on prend $bf = 7^m,40$ et $bg = 3^m,50$. Le volume du déblai compris entre les profils 1 et 2 étant égal à la mi-somme de ses surfaces sur ces profils multipliée par la distance

des profils, il est égal à $\frac{15,50+7,40}{2} \times 30 = 343^{mc},50$, valeur qui est représentée en mètres carrés par l'air du trapèze *abfd*. Par la même raison, le volume du remblai compris entre les profils 1 et 2 est égal à $\frac{8,46+3,50}{2} \times 30 = 179^{mc},40$, c'est-à-dire qu'il est représenté par l'aire du trapèze *abge*.

Prenant $ci = 3^m,62$, et joignant *fi*, le point *k* représente la position moyenne de la ligne de passage de la partie en déblai du profil 2 et de la partie correspondante en remblai du profil 3. Le volume du déblai est représenté par l'aire du triangle *bkf* et celui du remblai correspondant, par celle du triangle *cik*. L'autre partie de remblai comprise entre les profils 2 et 3 est représentée par le trapèze *bchg*; de sorte que construisant *hlk'* équivalent au triangle *cik*, ce qui se fait simplement en prenant $hl = ci$, l'aire du polygone *bclk'g* représente le volume total de remblai compris entre les profils 2 et 3.

D'abord, on a (n[os] 659 et 661) $bk = \frac{50 \times 7,40}{7,40+3,62} = 33^m,57$, et par suite $kc = 50 - 33,57 = 16,43$. L'aire du triangle *bkf* est alors $\frac{7,40 \times 33,57}{2} = 124^{mc},21$, ce qui représente le cube du déblai compris entre les profils 2 et 3.

On a

$$kk' = bg + (ch - bg)\frac{bk}{bc} = 3,50 + (10,40 - 3,50)\frac{33,57}{50} = 8^m,13$$

L'aire du trapèze $bkk'g = \frac{3,50+8,13}{2}\,33,57 = 195^m,38$; celle du trapèze $kclk' = \frac{8,13+14,02}{2} \times 16,43 = 182,05$, et par suite la surface du polygone *bclk'g* est égale à $195,38 + 182,05 = 377^{mc},43$, valeur qui exprime le cube total de remblai compris entre les profils 2 et 3.

Examinons maintenant de quelle manière les déblais seront employés pour faire les remblais. Entre les profils 1 et 2, si l'on prend $am = ae$ et $bn = bg$, on voit que la partie *abnm* du déblai sera employée pour faire le remblai *abge*, sans aucun transport suivant la longueur de la route, mais que le restant de remblai, représenté par le trapèze *mnfd*, et qui est par conséquent égal à $343,50 - 179,40 = 164^{mc},10$, devra être transporté entre les profils 2 et 3, et peut-être plus loin. Les parties qui se compensent sans transport longitudinal se distinguent dans la figure par un liséré en hachures.

Entre les profils 2 et 3, le triangle en déblai *bkf* se place directement sur le triangle *bko*, ou mieux sur le polygone *bkk'g*, en faisant le triangle *kcp* équivalent au triangle *cpg*. Il reste donc entre ces deux profils

excès de remblai représenté par le polygone *kclk'o'*. Comme ce ygone est la différence entre le polygone *bclk'g* et le triangle *bkf*, cès de remblai est donc 377,43—124,21 =253^{mc},22 ; ainsi, les ^{mc},10 d'excès de déblai entre les profils 1 et 2 seront employés à iblayer entre 2 et 3, et il restera encore un excès de remblai égal 3,22—164,10 =89^{mc},12. Cet excès est représenté par le trapèze *clqr*, t il faut d'abord déterminer les dimensions *rc* et *rq*.

orsque le point *r* est en *c*, on a *rq*=*cl*, et lorsqu'il est en *k*, on a =*kk'*; ainsi pour un avancement *ck*=16,43, *cq* a diminué de *cl*—*kk'* 4,02 - 8,13=5^{m},89, ce qui fait 0^{m},36 par mètre. Cela étant, on a

$$89,12 = rc\,\frac{14,02 + 14,02 - rc \times 0,36}{2},$$

iation de laquelle on peut tirer directement la valeur de *rc*; mais st plus commode de déterminer cette valeur par tâtonnement: la face du trapèze *clqr* et la valeur de *cl* font juger quelle sera à peu s la valeur de *rc*; ainsi, dans ce cas, elle différera peu de 6^{m},5 ; nplaçant dans le second facteur du deuxième membre de l'équa- n précédente *rc* par cette valeur, on a

$$89,12 = rc\,\frac{14,02 + 14,02 - 6,5 \times 0,36}{2}, \quad \text{d'où} \quad rc = 6^{m},94.$$

Cette valeur étant substituée à son tour dans l'équation, on conclut =6^{m},98, valeur différant très-peu de la précédente et que l'on peut opter dans la pratique.

On a

$$kr = 16,43 - 6,98 = 9^{m},45, \text{ et } rq = 14,02 - 0,36 \times 6,98 = 11^{m},51.$$

Au lieu de déterminer directement la valeur de *rc*, on aurait pu dé- miner celle de *kr*, en remarquant que la surface du trapèze *krqk'* est différence entre les deux trapèzes *kclk'* et *rclq*, c'est-à-dire égale à

$$182,05 - 89,12 = 92^{m},93,$$

que

$$rq = kk' + 0,36 \times kr.$$

Examinons maintenant quelle sera la distance moyenne à parcourir ur transporter le déblai représenté par le trapèze *mnfd* sur l'espace cupé par le remblai figuré par le pentagone *krqk'o'*. Cette distance t égale à celle des centres de gravité de ces polygones, mesurée sui- nt AB.

E étant le centre de gravité du trapèze *mnfd*, on peut déterminer 'en decomposant ce trapèze en deux triangles, mais on a directe- ent (*Int.*, 1445

$$Ef' = \frac{ab(nf + 2md)}{3(nf + md)} = \frac{30(3,90 + 2 \times 7,04)}{3(3,90 + 7,04)} = 16^{m},43.$$

De même, H étant le centre de gravité du trapèze $rqk'k$, on a

$$HT = \frac{kr(kk' + 2rq)}{3(kk' + rq)} = \frac{9,45(8,13 + 2\times 11,51)}{3(8,13 + 11,51)} = 5 \text{ mètres.}$$

Il faut maintenant déterminer à quelle distance de kk' se trouve le centre de gravité L du triangle $kk'o'$. La surface de ce triangle est égale à celle du trapèze $bkk'g$ moins celle du triangle bkf, c'est-à-dire à $195,38 - 124,21 = 71^{mc},17$; la base kk' de ce triangle étant $8^m,13$, sa hauteur est $\frac{71,17}{4,065} = 17^m.51$. On a donc $LT = \frac{17,51}{3} = 5^m,84$, et par suite $LH' = 5,00 + 5,84 = 10^m,84$.

Le centre de gravité du pentagone $krqk'o$ se projette entre L et H', à des distances de ces points qui sont en raison inverse des surfaces du triangle $kk'o'$ et du trapèze $krqk'$, de sorte qu'on a

$$H'P = \frac{10,84\times 71,17}{71,17 + 92,93} = 4^m,70,$$

et

$$TP = 5,00 - 4,70 = 0^m,30.$$

La distance moyenne de transport est alors

$$Ef' + bk + TP = 16,43 + 33,57 + 0,30 = 50^m,30.$$

Tous ces calculs peuvent être abrégés en faisant la figure à une échelle plus grande, ce qui permet, lorsqu'on n'a pas besoin d'une évaluation rigoureuse, de prendre les longueurs à l'échelle sans les calculer, et même de fixer à vue d'œil la position des centres de gravité.

A l'aide du dessin des profils et de l'un des tableaux pages [illegible], on peut se rendre compte exactement des quantités de terre à transporter longitudinalement, et plus ou moins approximativement de la distance moyenne de transport, sans qu'il soit nécessaire de faire le tableau graphique.

668. *Influence des rampes sur les distances de transport.* Il est évident qu'une rampe ascendante du déblai au remblai augmente le travail, puisque, outre le travail dépensé pour le transport horizontal, il faut encore élever les matériaux. Des ingénieurs admettent que le travail est le même pour monter une rampe de 20 mètres de base sur $2^m,50$ de hauteur (inclinée au 1/8), que pour parcourir une distance horizontale de 30 mètres. La pente 1/8 exigeant un travail au-dessus des forces de l'homme, il convient d'adopter, comme dans les travaux du génie militaire, une rampe au 1/12, et de considérer comme équivalent de la distance horizontale 30 mètres, une rampe de 20 mètres de base sur $1^m,65$ de hauteur. Ainsi, considérant que pour s'élever de la hauteur H il faut parcourir une rampe de 12 H de base

ıe 20 mètres de cette rampe équivalent à 30 mètres de transport
ɔntal, un mètre équivaut à $1^m,50$, et les 12 H à 12 H × 1,50 = 18H,
i revient à ajouter 6H à l'espace réellement parcouru horizonta-
ıt, sans que cet espace horizontal soit jamais inférieur à 12H;
le cas où un chemin direct donnerait un espace moindre, on
;erait un chemin composé de deux, ou plus si cela était néces-
, directions se raccordant de manière que l'ouvrier pût faci-
nt passer de l'une à l'autre avec sa brouette.

t ABCD, figure 23, planche III, une fouille dont les terres sont
nées à former le cavalier EFHI, G le centre de gravité de la
le, G' celui du remblai, et h, h' les distances verticales de ces
:es de gravité à l'horizontale AI. Pour amener au point D les terres
fouille, il faut développer le même travail que si toute la masse
concentrée au point G; par conséquent le travail développé est
ıême que pour transporter la masse à une distance horizontale
e à 18 h; par la même raison, le travail développé pour amener
erres depuis le point E jusqu'aux différents points du cavalier est
ıème que pour parcourir un espace horizontal égal à 18 h'; le tra-
total produit équivaut donc à un transport horizontal à une dis-
:e 18 $(h + h')$ + DE. On est obligé de laisser des rampes pour éle-
les terres, soit de l'intérieur de la fouille au point D, soit du
nt E aux différents points du cavalier; comme ces rampes sont
linairement espacées de 20 mètres entre elles, il en résulte que
ıcune d'elles reçoit les terres jusqu'à une distance de 10 mètres de
ıque côté; ce qui exige encore, pour toute la masse, un transport
rizontal à une distance moyenne de 5 mètres, et comme ce trans-
rt se reproduit pour former le cavalier comme pour faire la fouille,
en résulte que l'accroissement total de la distance de transport
de 10 mètres; par conséquent la distance totale de transport est
$(h + h')$ + DE + 10 mètres.

Soit, même figure, DK et EL deux lignes inclinées au 1/12. Si le sol
rmet partout la circulation de la brouette, on pourra enlever la por-
n AKD sans s'astreindre à venir passer sur des rampes espacées de
mètres, ce qui diminuera, pour cette portion, la distance de trans-
rt de 5 mètres; on peut produire la même diminution sur le cava-
:r pour la partie EIL; cette considération n'est pas à négliger quand
fouille est très-large et peu profonde. Quoi qu'il en soit, comme il
a avantage de suivre des rampes, surtout sur les terres remuées,
rce que le sol y prenant de la consistance le transport y devient
us facile, dans les circonstances ordinaires du transport en pente,
prend pour distance horizontale de transport 18 fois la différence
: niveau des centres de gravité de la fouille et du remblai, plus la
stance du bord de la fouille au pied du cavalier, plus encore
mètres pour le transport normal aux rampes; de sorte que dans

l'exemple précédent, V étant le cube de terre transporté, le travail produit peut être exprimé par V $[18\,(h + h') + DE + 10]$.

Si le sol allait en s'élevant de A vers I, $h + h'$ exprimerait, comme dans le cas d'un sol horizontal, la différence de niveau des centres de gravité G et G'; si au contraire le sol allait en s'abaissant de A vers I, on remplacerait $18\,(h + h')$ par la somme de la distance horizontale du centre de gravité G au point D et de celle du centre de gravité G' au point E, augmentée de 6 fois la distance verticale du point D au-dessus du centre de gravité G, plus 6 fois la différence positive de niveau du centre de gravité G' et du point E; c'est également la valeur que l'on substituerait à $18\,(h + h')$ dans le cas où les lignes GD et G'E seraient inclinées à moins de 1/12; dans ce dernier cas on augmenterait la valeur de DE de 6 fois la hauteur verticale du point E au-dessus de D.

Dans les différents cas que nous venons d'examiner, nous avons tenu compte de l'excès de travail dû à une rampe ascendante: mais nous avons négligé l'effet d'une rampe descendante. Dans le transport à la brouette, comme l'ouvrier fatigue peut-être un peu moins en descendant, mais qu'il fatigue beaucoup plus en remontant à vide il est vrai, la pente descendante ne peut être très-favorable; mais dans le transport au moyen du camion, du tombereau ou du wagon, cas où le moteur ne porte pas la majorité de la charge comme avec la brouette, il convient de tenir compte de l'inclinaison (655).

666. *Exécution des déblais et des remblais.* Les travaux de terrassements comprennent toutes les opérations ayant pour but de transformer le sol, soit en y apportant des terres pour le rehausser, soit en le fouillant pour y pratiquer des excavations pour la construction des ouvrages d'art, tels que routes, canaux, fondations d'édifices, etc.

Pour exécuter les déblais dans les terres ordinaires, les sables, les graviers, etc., les ouvriers terrassiers commencent par les ameublir avec une pioche dite *tournée*, instrument en fer aplati, du poids de $2^k,5$ à $3^k,75$, dont les extrémités, aciérées sur $0^m,06$ de longueur, sont l'une à tranche plate très-allongée et en forme d'*herminette*, et l'autre à pic; il est percé au milieu d'un trou circulaire pour recevoir un manche de $0^m,86$ de longueur et $0^m,035$ de diamètre. Une tournée de $0^m,80$ de longueur totale et de $0^m,075$ de largeur à l'extrémité de l'herminette, pèse $3^k,75$, et coûte 7 francs, y compris le manche qui entre pour 1 franc dans ce prix.

Pour enlever les terres au fur et à mesure qu'elles sont piochées, les ouvriers se servent de la pelle, dont la plus avantageuse est celle en fer battu de $0^m,003$ d'épaisseur. Elle est terminée en demi-cercle, ou légèrement en pointe; elle a environ $0^m,32$ de longueur et autant de largeur; sa longueur totale, y compris le manche, qui est légèrement courbé, est de $1^m,40$.

ur les terres meubles et humides, telles que la terre végétale, ble fin, la tourbe, l'argile et quelquefois la marne, on opère la le au moyen de la *pelle*, de la *bêche* ou du *louchet*.

rsque les terres présentent une trop grande cohésion pour qu'on se les ameublir avec la tournée, c'est-à-dire quand elles comcent à avoir la consistance du roc, on a recours à la *pince* et au Ce dernier outil n'est souvent qu'à une seule pointe fortement ·ée, et l'œil qui le termine de l'autre côté reçoit un manche, la longueur varie de 0m,60 à 0m80 suivant la longueur du pic, lépend elle-même de la nature des déblais à fouiller. Parfois le st à deux pointes, et l'œil pour le manche se trouve au milieu. néralement le pic ne sert qu'à pratiquer des *tranches* ou *sais*, dans lesquelles, à coup de *masse* ou de marteau, on enfonce *coins* pour opérer l'excavation, que l'on achève en soulevant les s avec la pince. Le poids des coins varie de 0k,5 à 5 kilogrammes, lui des masses de 5 à 10 kilogrammes. Les manches doivent être ois durs et souples; on les fait ordinairement en cornouiller.

our le roc dur, on emploie ordinairement la *pointerolle*. Cet outil er est terminé d'un côté par une pointe obtuse, et de l'autre par tête carrée, sur laquelle on frappe avec une massette, à manche rt, pouvant peser 2 kilogrammes. Les extrémités de la pointee doivent être aciérées. Un manche long de 0m,30 est placé au ieu de sa longueur, qui est environ de 0m,20.

our les roches excessivement dures, on se sert du *fleuret*, qui t autre chose qu'une tige en fer rond de 0m,03 à 0m,04 de diamètre, e 0m,50 à 0m,75 de longueur, terminée d'un bout par une tête, et 'autre par un biseau courbe et allongé. La largeur de ce biseau être un peu plus grande que le diamètre de la tige, afin que le ret puisse tourner librement dans les trous qu'il sert à pratiquer s le roc.

our exécuter dans l'eau la fouille des terres, des sables ou des viers, on emploie la *drague à main*, et s'il s'agit de fouilles conrables, la drague à main est remplacée très-avantageusement un *bateau dragueur*, que fait fonctionner, soit un manége à un deux chevaux, soit une machine à vapeur.

a méthode généralement employée pour exécuter les fouilles siste à piocher les terres par couches successives de 0m,30 à 0m,40 paisseur, que les ouvriers appellent *plumées*, et à les enlever au et à mesure qu'elles sont ameublies.

orsque la fouille a de grandes dimensions, on attaque, toutes les que cela est possible, les déblais par leur partie inférieure, en ssant immédiatement le fond de la fouille, afin de faciliter le *pelle* des terres. Dans ce cas on peut employer la méthode dite par *tage*, qui est très-expéditive, et qui consiste, une fois que la

fouille est faite en un point, à attaquer la masse latéralement, en creusant en dessous, et à la détacher par parties, en faisant tomber les portions qui ne sont plus retenues que par la cohésion des terres à l'aide de deux ou trois pieux en bois armés d'une pointe en fer frettés par le haut, que l'on enfonce à coups de masse dans la tête de la partie minée. Les terres, en s'éboulant ainsi dans la fouille, s'ameublissent au point de pouvoir être pour ainsi dire chargées directement avec la pelle. On peut de cette manière détacher à la fois des masses de 20 à 30 mètres cubes.

L'ouvrier terrassier doit apporter un soin tout particulier à bien dresser les berges de la fouille, surtout quand elle est destinée à recevoir des maçonneries de fondations.

Un terrassier peut jeter la terre à la pelle à 4 mètres de distance horizontale, ou à une hauteur verticale de $1^m,60$ à 2 mètres. Il peut enlever à la pelle et charger sur une brouette 20 à 25 mètres cubes de terre, dans sa journée de dix heures de travail ; il faut réduire ce volume de 1/4 lorsque la terre est jetée horizontalement à 3 mètres au moins et à 4 au plus, ou qu'elle est enlevée verticalement à 1,60 à 2 mètres, ou encore chargée en tombereau.

Relativement à la fouille, il n'y a guère que des expériences directes qui permettent d'évaluer la quantité qu'en peut faire un terrassier, cette quantité étant variable selon la nature et la dureté des terres. Cependant, dans les terrains ordinaires, analogues au sol rapporté de Paris, lorsqu'il y a nécessité de faire usage de la pioche et qu'il y a impossibilité d'employer l'abatage, un terrassier peut fouiller et jeter à la pelle, horizontalement, à 4 mètres au plus, ou sur une banquette élevée à $1^m,60$ à 2 mètres, environ 7 à 9 mètres cubes de terre.

Dans les travaux du génie militaire, si un homme suffit pour charger une brouette pendant qu'un homme parcourt un relais horizontal de 30 mètres, on dit que la *terre* est *à un seul homme* ; si un homme ne suffit pas, et que, par exemple, pour deux meneurs il faille deux chargeurs et un piocheur, la *terre* est *à un homme et demi* ; la terre peut être *à deux, à trois, etc. hommes*. On conçoit que les prix doivent être différents pour ces diverses espèces de terre.

Afin de se rendre bien compte de la catégorie à laquelle appartient la terre que l'on a à fouiller lorsqu'il s'agit de fixer le prix à accorder aux entrepreneurs, on fait piocher un certain volume de terre, en l'amenant à l'état de pouvoir être chargée à la pelle, par un ouvrier que choisit la partie qui doit faire exécuter, et on fait charger cette terre par un ouvrier qui reçoit, lui, ses instructions de l'entrepreneur. Si T est le temps qu'a mis le premier ouvrier pour piocher, et que t soit celui qu'emploie le second pour charger la même terre, il en

te que $\frac{T}{t}$ est le nombre des piocheurs nécessaires pour entrete-
ın chargeur; il faudra donc avoir $\frac{T}{t} + 1 = \frac{T+t}{t}$ ouvriers à la
.e pour occuper un meneur d'une manière très-continue, par con-
ent la *terre est à* $\frac{T+t}{t}$ *hommes*. Il est à remarquer que dans cette
rience chacune des parties intéressées fournissant l'ouvrier qui
ille dans le sens de ses intérêts, l'une et l'autre ont sujet d'être
faites.

7. Le système de *déblais par dépôts et emprunts* consiste dans
cution d'un déblai dont les terres sont mises en *dépôts* ou en *ca-*
rs sur l'un ou les deux côtés de la fouille, ou d'un remblai fait au
en d'*emprunts*, c'est-à-dire de fouilles exécutées sur l'un ou les
ı côtés du cavalier.

les moyens mécaniques ne peuvent être employés avantageuse-
ıt pour élever les terres fouillées et en former des cavaliers, le
ıvement des terres s'opère au moyen de brouettes, de camions ou
ombereaux.

Exécution d'un déblai au moyen de brouettes. La longueur du re-
étant de 30 mètres sur un plan horizontal, elle sera réduite à 20
res sur un plan dont la pente est de 0^m,08 à 0^m,0825 par mètre,
es terres seront élevées de 1^m,60 à 1^m,65 à l'extrémité du relais,
ıteur qui est celle du jet vertical à la pelle (665).

a fouille à exécuter devra alors être partagée dans le sens de sa
gueur en tranchées de 20 mètres de longueur, lesquelles, avec
ier horizontal de 1^m,50 de largeur, recevront chacune un atelier.
atelier sera composé, par chaque deux mètres de largeur de la
nchée, d'un piocheur chargeant les brouettes si la terre est meuble,
d'un piocheur et d'un chargeur si elle est assez dure pour que
deux hommes soient constamment occupés pendant qu'un troi-
me conduit la terre à un relais. Comme il doit toujours y avoir sur
ıque atelier élémentaire une brouette en charge, le nombre des
ıuettes pour chacun d'eux sera égal à celui des rouleurs plus 1.
par exemple, la fouille a 6 mètres de largeur, on y établira un
lier composé de trois ateliers élémentaires, et si la terre est assez
me pour exiger un piocheur et un pelleteur pour un rouleur, la
re n'étant transportée qu'à un relais, le personnel de l'atelier se
nposera de trois piocheurs, trois pelleteurs et trois rouleurs. Si le
pôt des déblais n'était pas placé immédiatement au bord de la
nchée, on ajouterait le nombre de rouleurs nécessaires.

Au commencement, les déblais sont portés à l'extrémité du lieu de
pôt; il en résulte que la fouille étant commencée près du bord
isin du dépôt, la distance de transport et par suite le travail des
ıleurs varient le moins possible.

L'atelier enlève d'abord une tranche dont l'épaisseur, nulle au point de départ, augmente progressivement de manière à être 1^{m},65 à la distance de 20 mètres ; puis il extrait la terre à cette profondeur dans toute l'étendue de la fouille, en ne réservant que les rampes nécessaires. Au lieu d'enlever toute la tranche inclinée de 20 mètres, on peut d'abord ne creuser que les rampes, puis faire la fouille de 1^{m},65 d'épaisseur uniforme. Quand l'excavation est arrivée à 1^{m},65, on enlève une autre couche d'une égale épaisseur, en continuant les rampes, auxquelles on donne les directions qui nécessiteront le moins de transport transversal pour extraire cette seconde couche. On enlève ensuite une troisième couche, et on continue ainsi de suite jusqu'à ce que la fouille soit arrivée à la profondeur voulue. Alors on procède à l'enlèvement des rampes, auxquelles on a donné environ 1^{m},30 de largeur, pour que deux rouleurs puissent se croiser. On conçoit que, pour accélérer le travail, on peut, en ménageant des rampes convenables, disposer un atelier tous les 20 mètres de longueur d'une même couche, au lieu de faire enlever toute la couche par le même atelier. On conçoit aussi qu'au lieu de procéder par couches de 1^{m},65 d'épaisseur, il peut être convenable, si la nature des terres varie ou si l'eau peut arriver dans la fouille à une certaine profondeur, de modifier cette épaisseur 1^{m},65.

Parfois, au lieu de réserver les rampes en déblais, on les établit à l'aide de tréteaux et de plats-bords; cela permet d'enlever en totalité les tranches successives. Du reste, il est facile de comprendre que l'on ne peut poser de règle absolue pour la disposition des ateliers de terrassement, les conditions d'exécution étant loin d'être toujours les mêmes.

Pour former le dépôt de remblai au moyen de la brouette, on procède également par couches successives de 1^{m},60 environ, à l'aide de rampes inclinées à 0^{m},08 par mètre, et dirigées de manière à diminuer, autant que possible, les transports transversaux et les élévations verticales des remblais. Comme au déblai, on peut encore diviser le travail en ateliers de 20 mètres de longueur, en réservant des rampes convenables de 1 mètre à 1^{m},50 de largeur, disposées autant que possible, sur le bord du remblai, entre le talus naturel des terres, qui est à environ 1 de base pour 1 de hauteur, et le talus définitif, qui est ordinairement à 1 et 1/2 de base pour 1 de hauteur.

Quelle que soit la disposition des rampes, le transport horizontal transversal est toujours considérable et dispendieux; pour y remédier, on a eu recours à différents appareils mécaniques transformant ce transport horizontal en une élévation verticale, et qui ont, dans quelques cas, donné d'assez bons résultats.

2° Les dispositions que nous venons de décrire succinctement peuvent aussi être adoptées quand on fait usage de *camions* ou de tom-

eaux, mais en réduisant la pente des rampes à 0^m,05 ou 0^m,06 par ètre (672).

668. *Prix de revient des terrassements.* On peut énoncer que pour s terrains ordinaires (terre végétale, alluvion, sable et menu gra- er), le temps nécessaire à la fouille, en grandes tranchées de plus 0^m,20 d'épaisseur et au moins de 2^m,00 de largeur, sans embarras étais, est à très-peu près égal à une fois et demi celui nécessaire à i jet de pelle de 1^m,60 de hauteur verticale. C'est ce que confirment s résultats du tableau suivant, qui peuvent être pris comme terme oyen du temps nécessaire à l'exécution des déblais dans les ter- ins analogues à celui du sol supérieur de Paris (terres végétales gravats rapportés).

Pour un mètre cube.	Heures de terrassier.
ouille en grandes tranchées ayant au moins 2 mètres de largeur au fond, sans étais.	0,80
— en tranchées ou rigoles ayant moins de 2 mètres de largeur au fond, avec embarras d'étais.	0,90
et à la pelle à une distance horizontale de 3 mètres ou à une hauteur verticale de 1^m,60, en rigoles ou tranchées ayant au moins 2 mètres de largeur au fond, sans étais ni banquettes.	0,50
— à une distance horizontale de 3 mètres ou à une hauteur verticale de 1^m,60, en rigoles ou tranchées ayant moins de 2 mètres de largeur au fond, avec étais et banquettes.	0,60
— en brouette, caisse ou camion n'excédant pas 1^m,20 de hauteur. . . .	0,40
— en tombereau ou en wagon, ou encore sur berge ou sur banquette de 2 mètres de hauteur, en grandes tranchées	0,60

Les résultats précédents doivent être modifiés selon les données du ableau suivant, quand il s'agit de terres dures, grasses ou humides, et d'un pelletage difficile.

TABLEAU des quantités moyennes de déblai qu'un terrassier de force ordinaire peut piocher et jeter à une hauteur de 1m.60, *ou charger en brouette, dans une journée de dix heures de travail, pour différentes natures de sol, en grandes tranchées.*

	CUBE fouillé et jeté à 1m.60 en 10 heures.	RÉPARTITION des heures employées.	
		à la fouille.	au jet ou à la charge.
	m	h	h
Terre végétale de diverses espèces (alluvions, sables, etc).	7.70	6.25	3.75
Terre marneuse et argileuse, moyennement compacte.	6.00	6.70	3.30
Terre compacte, dure.	5.25	7.10	2.90
Terre crayeuse.	4.90	7.00	3.00
Terre fortement imbibée d'eau.	4.25	7.24	2.76
Tuf moyennement dur.	2.85	8.40	1.60
Tuf très-dur.	2.38	8.70	1.30
Roc tendre, gypse, enlevé au pic et au coin.	2.00	8.80	1.20

669. *Étrésillonnement des berges.* Quelle que soit la nature des terres, il est une mesure de précaution à prendre pour éviter les éboulements, quand la fouille, taillée à pic, atteint une certaine profondeur; elle consiste à étrésillonner les berges avec des étais en bois placés en *arcs-boutants.* Afin que ces derniers soient moins chargés et qu'on puisse les serrer plus facilement contre les couches de terre, on donne aux berges un talus de 0m,02 à 0m,03 par mètre de profondeur.

670. *Déblais au-dessous de l'eau. Dragage.* Pour les fondations d'ouvrages d'art, il arrive souvent que les moyens d'épuisement seraient insuffisants ou trop dispendieux pour que l'on puisse exécuter les fouilles à sec. S'il s'agit de roc ou d'un terrain dur et argileux, on a forcément recours à un batardeau pour entourer l'espace à creuser; si l'épuisement est possible, on l'exécute, et la fouille se fait à sec; mais, dans le cas contraire, on est obligé de se servir de la cloche à plongeur ou du scaphandre, moyens très-dispendieux qui ne s'emploient que dans les cas extraordinaires.

Quand le terrain à fouiller dans l'eau est composé de sable et de menu gravier, ou même de terre friable, on fait usage de la drague à main toutes les fois que le volume de la fouille n'est pas assez important pour que l'on ait recours à la drague-machine, ou qu'il est impossible d'amener le bateau dragueur au-dessus de l'excavation.

Le dragage à la main s'exécute ordinairement par des ouvriers spéciaux, habitués à ce genre de travail, et qu'on désigne sous le nom de *dragueurs.* En leur absence, on a recours à des manœuvres; mais le travail produit est considérablement réduit; la profondeur d'eau

ant de $2^m,80$ à $4^m,00$, deux dragueurs expérimentés peuvent ex-
·e ensemble trois bateaux de sable cubant moyennement $2^m,80$
:un, soit $8^m,40$ par journée de dix heures, au lieu que deux ma-
ıvres ne font guère que la moitié de ce travail.

emploi de la machine à draguer, lorsqu'il est possible, diminue sidérablement le prix de revient des fouilles. Nous donnons ci-;ous la dépense et le travail en une journée de dix heures, pour petite drague à manége mue par deux chevaux, dont M. Laroque it usage pour extraire de l'Aude, à Coursan, des sables et gra-'s destinés au ballastage du chemin de fer du Midi. Pour une e drague, ces prix seraient encore réduits dans une notable pro-tion.

› dragué en dix heures de travail par la drague mue par un manége à ux chevaux, la profondeur d'eau étant de 3 à 4 mètres. . . . . . . 80 m. c.

1° *Dragage.*

	Dépense brute.
	fr.
atron chef	5,00
de	3,00
ıanœuvres à 2 fr. 50 c.	7,50
›rgeron	4,25
hevaux.	15,00
onducteur	2,25
aps du patron et de son aide pendant les journées de non-travail. . .	6,40
ērêt du prix d'acquisition de la drague, estimée 12 000 francs, et travaillant moyennement deux cents jours par an	3,00
retien, valeur des fers, bois, etc	5,50
Total pour 80 mètres cubes.	51,90
Id. pour 1 mètre cube.	0,65

Transport des sables dragués à une distance de 100 mètres, au moyen le barques; mise sur berges; reprise et transport au camion à une distance de 40 mètres; mise en dépôt et emmétrage.

arin pour conduire les barques	4,50
ıommes pour décharger les barques, à 3 francs.	12,00
:hargeurs de camions, à 3 francs.	9,00
ouleur à la flèche de chacun des trois camions, à 3 francs	9,00
:heval à chacun des trois camions, à 5 francs.	15,00
nanœuvres à la mise en dépôt et à l'emmétrage, à 2 fr. 50 c. . . .	15,00
eur des barques et camions, et entretien.	8,00
Total pour 80 mètres cubes.	72,50
Id. pour 1 mètre cube	0,91
x total du mètre cube de dragage mis en dépôt, 0f.,65 + 0f.,91 . . .	1,56

671. *Extraction des roches.* On a soin d'opérer par gradins, afin ıe les massifs présentent toujours deux faces libres, ce qui rend ur attaque plus facile, en même temps que cela permet de mul-plier les ateliers.

1° *Extraction par abatage.* Pour les roches trop tendres ou trop fendillées, qui ne permettent pas de faire avantageusement usage de la poudre, on procède par abatage, en se servant du pic, de la tranche, du coin, du levier, et parfois de la pointerolle. On pratique une tranchée ou saignée de 0m,05 à 0m,08 de largeur dans la partie la plus tendre du rocher, et en profitant, autant que possible des veines ou fissures naturelles qui peuvent s'y trouver. On enfonce alors à la masse des coins dans la tranche, et à l'aide de gros leviers dont l'extrémité recourbée est introduite dans la tranche, on détache les blocs, que l'on débite alors en moellons transportables, en pratiquant des petites saignées dans lesquelles on enfonce des coins.

Le procédé d'extraction par abatage est aussi employé pour des roches dures et compactes d'un grand prix, que l'on veut obtenir en blocs réguliers, tels que les marbres, les pierres de taille, etc. Pour ces matériaux, les devis proscrivent, du reste, presque toujours l'emploi de la poudre pour leur extraction.

2° *Extraction à la poudre.* Pour l'exécution des déblais proprement dits, ainsi que pour l'extraction des moellons et des enrochements, le procédé par abatage est remplacé avec une très-grande économie par l'emploi de la poudre, dont la transformation en gaz produit, dans l'espace qu'elle occupe, une pression qu'on évalue à environ 4000 atmosphères, et qui permet de diviser les roches les plus dures et les plus compactes.

On commence par forer dans la roche un ou plusieurs trous de 0m,03 à 0m,06 de diamètre, et de 0m,30 à 2 mètres de profondeur, selon la puissance du bloc que l'on veut détacher; on verse alors la quantité convenable de poudre dans la partie inférieure de ces trous, et on termine de les remplir au moyen de sable terreux, d'argile ou de débris calcaire, que l'on bourre au fur et à mesure du remplissage. On a soin de loger une mèche dans toute la longueur de cette espèce de tampon en terre, ou d'y réserver un trou pour la recevoir. Cette mèche se calcule de manière qu'après en avoir enflammé l'extrémité, les ouvriers aient le temps, avant l'explosion, de se mettre à l'abri des éclats qui peuvent être projetés.

La charge de poudre varie de 0k,60 à 2 kilogrammes; elle dépend ainsi que la capacité et la profondeur des trous de mine, de la dureté de la pierre et du volume des blocs à détacher.

Pour percer les trous de mine, on fait usage du fleuret, que l'on frappe avec une masse, en ayant soin de le faire tourner d'un sixième de circonférence environ après chaque coup, ou d'une barre en fer rond assez pesante, et portant, comme le fleuret, un tranchant aciéré à son extrémité. Cet outil, appelé *barre à mine*, est successivement soulevé et projeté sur le fond du trou que l'on creuse, en ayant également soin de le tourner d'une certaine quantité à chaque coup.

fur et à mesure de la descente du trou, on a soin de retirer les .us au moyen d'une cuiller en fer, dite *curette*. Pour les roches lures, afin que la barre à mine ne s'échauffe pas, et aussi pour a pierre soit moins dure et que le curage soit plus facile, l'ou- a soin de verser de l'eau dans le trou; dans ce cas, les détritus à l'état de boue liquide.

barre à mine est lancée par un ou deux hommes. Pour le fleu- deux hommes au moins sont nécessaires, un pour tenir l'outil et econd pour frapper dessus avec la masse, dont le poids varie de kilogrammes. La profondeur du forage produite en un jour par . hommes, soit avec le fleuret, soit avec la barre à mine, varie ᵐ,25 à 0ᵐ,75, selon le degré de dureté de la roche.

ıand le trou est arrivé à la profondeur voulue, on le cure avec , puis on le sèche avec des étoupes ou des chiffons passés dans de la curette. Alors on y verse de la poudre jusqu'au tiers ou la tié de sa hauteur, ou mieux, on y introduit une cartouche dis- ée à cet effet, en ayant soin, pour la pousser au fond, de se servir ı *bourroir* en cuivre ou en bois, afin d'éviter les explosions. La rge mise, on enfonce dans sa partie supérieure, sur le côté du ı, une *épinglette* en cuivre, autour de laquelle on comprime la ırre, à l'aide d'un *bourroir* dont la forme est à peu près celle de la re à mine, si ce n'est que son extrémité est en cuivre et qu'elle te une échancrure de même diamètre que l'épinglette, dans la- elle celle-ci passe librement, de manière à ne pas gêner le jeu du ırroir. Le bourrage étant complet, on retire l'épinglette, en la ant tourner afin qu'elle laisse un trou bien lisse. Le bourroir, sé dans un anneau qui termine supérieurement l'épinglette, rend ile cette opération, qui doit être exécutée sans secousse, afin d'é- er tout échauffement ou étincelle qui pourraient enflammer la ıdre. On remplit alors le petit trou laissé par l'épinglette, avec de poudre ou des petites fusées que l'on met en contact avec une che soufrée ou un morceau d'amadou, lesquels brûlent assez len- nent pour qu'après y avoir mis le feu, l'ouvrier ait le temps de s'é- gner avant que la poudre fasse explosion. Quelquefois, au lieu ıne épinglette, on laisse dans le trou une paille ou un petit tube fer-blanc rempli de poudre. Depuis quelques années, on remplace s-avantageusement dans le bourrage l'épinglette par des mèches de reté, dites de Bickfort, qui sont spécialement fabriquées pour cet jet. Elles sont formées d'une petite corde de coton dont l'âme est ı filet continu de poudre recouvert d'un ruban goudronné contourné spirale. Comme elles brûlent assez lentement, on peut en allumer rectement le bout extérieur, et avoir le temps de se garer avant xplosion. De plus, comme elles ne craignent pas l'humidité, quand trou de mine est sous l'eau ou ne peut être séché, il suffit de placer

la poudre dans une cartouche imperméable, en toile ou en papier goudronné, ou en fer blanc, à laquelle on adapte une de ces mèches imperméables.

Afin d'éviter les pertes de temps et les accidents, on a soin de faire partir à la fois tous les trous de mine de l'atelier; les ouvriers ne se garent ainsi qu'une seule fois pour plusieurs explosions. Il arrive quelquefois qu'un trou de mine rate; ce cas réclame une grande prudence, et le chef d'atelier doit fixer un délai d'une certaine durée entre la mise du feu et la visite du trou, dont l'explosion a pu n'être que retardée. Dans des roches fissurées, il peut arriver que le départ d'un trou de mine communique l'explosion à d'autres situés à plusieurs mètres de distance; on conçoit alors combien il est prudent de faire partir ensemble tous les trous de mine chargés, et de ne reprendre le travail que quand on a fait faire explosion aux trous qui ont raté. On a vu des trous qui, après avoir raté, ont fait explosion quinze ou vingt heures plus tard, par suite de l'inflammation d'autres trous.

Quand les trous de mine ont fait explosion, les ouvriers, à l'aide de pics et de leviers, procèdent à l'abatage des parties de roche détachées par la poudre, et les divisent en blocs transportables.

672. *Transport des terres.* Le transport des terres se fait en les jetant à la pelle lorsque la distance n'est que de quelques mètres (666), mais lorsqu'elle est plus considérable, on fait usage de brouettes, de camions, de tombereaux, de bourriquets, et de wagons (670).

1° *Transport à la brouette* (667). Les brouettes employées pour les terrassements ont ordinairement 1/25 de mètre cube de capacité; cependant on en fait dont le contenu atteint 1/20, et d'autres où il n'est que de 1/33 de mètre cube.

Le relais est à peu près constant dans toutes les localités, il est de 30 mètres sur un plan horizontal, et de 20 mètres sur les rampes de $0^m,08$ par mètre. Le poids de la charge des brouettes est, au contraire, très-variable; il ne doit pas être inférieur à 60 kilog.; il est ordinairement de 70 kilog. environ; on le porte quelquefois à 80 kilog., et on voit même des ateliers rouler avec des charges supérieures à 100 kilogrammes; cette variation apporte la plus grande différence dans le travail des ateliers.

Un fort rouleur à la tâche, dans une journée de huit à neuf heures de travail, parcourt environ 30 000 mètres ou 7,5 lieues de 4 kilomètres, avec sa brouette tant pleine que vide.

La quantité d'ouvrage faite par un rouleur augmente sensiblement par l'emploi d'un bon système de chemins en planches, bien unis et souvent nettoyés avec la pelle; c'est surtout dans les rampes que les chemins de cette nature sont souvent nécessaires, et, lorsqu'il pleut, on doit avoir soin de les saupoudrer de sable ou de décombres, par

pêcher les pieds des travailleurs de glisser. Il faut aussi enlever erre qui reste adhérente à la brouette, aussi souvent que le be- a s'en fait sentir.

Dans un chantier bien organisé, il ne faut pas que des ouvriers ent inoccupés pendant que les autres travaillent. Pour une terre ile, un ouvrier chargeant 20 mètres cubes de terre en 10 heures travail, c'est-à-dire en 36 000 secondes, pour charger une brouettée $0^{mc},04$ il mettra $\frac{36\,000 \times 0,04}{20} = 72''$, et comme un rouleur par- urt 30 000 mètres dans une journée de 10 heures de travail, ou $\frac{000 \times 72}{36\,000} = 60$ mètres en 72″, le relais sera donc de 30 mètres, ou mètres pour l'allée et la venue ; c'est l'étendue généralement adop- , et qui paraît la plus favorable au travail. Cependant il y a des s où le relais ne peut être réglé à 30 mètres, celui, par exemple, la distance de transport est moindre que 60 mètres; alors on règle capacité de la brouette d'après la distance à parcourir.

2° *Transport au camion.* Le camion est un petit tombereau ordi- irement traîné par trois hommes, et pouvant contenir alors $0^{mc},20$ terre.

S'il n'y avait pas de temps d'arrêt, le camion parcourrait 30000 ètres en 10 heures, et comme il faut compter sur 50 à 60″ soit $0^{h},02$ our s'atteler au camion, le décharger et le remettre en marche, il en sulte que le temps employé pour transporter le contenu $0^{mc},20$ du mion à une distance de 30 mètres est

$$0,02 + \frac{10 \times 30 \times 2}{30\,000} = 0^{h},04.$$

Pour transporter un mètre cube à la même distance, il faudra donc

$$\frac{0,04 \times 1}{0,2} = 0^{h},2.$$

Si la distance de transport est de 60 mètres, le transport d'un ca- ion exigera

$$0,02 + \frac{10 \times 60 \times 2}{30\,000} = 0^{h},06,$$

e qui fait $\frac{0,06}{0,2} = 0^{h},3$ par mètre cube.

A une distance de 90 mètres, ces temps seraient respectivement $^{h},08$ et $0^{h},4$.

Un ouvrier chargeant 20 mètres cubes de terre en 10 heures, deux uvriers mettront $\frac{10 \times 0,2}{20 \times 2} = 0^{h},05$ pour charger le contenu $0^{mc},2$ du amion. Ce temps, comparé à celui de $0^{h},08$ que mettent les rouleurs

pour parcourir un relais de 90 mètres, fait voir que pour une terre aussi facile on pourrait à la rigueur fixer le relais à moins de 90 mètres; cependant il convient de le fixer à 100 mètres, afin de soulager les chargeurs, qui fatiguent évidemment plus pour jeter la terre sur un camion que sur une brouette.

3° *Transport au tombereau.* Pour transporter les terres à une grande distance, on fait usage de tombereaux, qui sont ordinairement attelés d'un cheval et ont alors une capacité de $0^{mc},50$; dans quelques localités on les fait plus grands; ainsi à Paris on en voit qui cubent de $1^{m},00$ à $1^{m},50$, et qui sont le plus souvent traînés par deux chevaux.

Le temps nécessaire au transport au tombereeu peut se diviser en trois parties distinctes :

1° *Le temps nécessaire au chargement.* En supposant toujours qu'un homme puisse charger 15 mètres cubes de terre en 10 heures de travail (dans le plus grand nombre de cas, il convient de réduire ce nombre à 12 mètres cubes), si l'on représente par C la capacité du tombereau, et par N le nombre des chargeurs, ce temps sera $\frac{10 \times C}{15 \times N}$. Le nombre N ne doit pas dépasser 3, car, autrement, les chargeurs se gêneraient, et il comprend le conducteur, qui travaille comme chargeur;

2° *Le temps nécessaire au mouvement.* Un cheval attelé à un tombereau parcourant 30 000 mètres en 10 heures, pour parcourir R relais de 100 mètres, il mettra $R\frac{10 \times 200}{30\,000} = R \times 0^{h}{\cdot}067$.

3° *Le temps employé au déchargement et à la mise en marche du tombereau.* Ce temps est évalué à $0^{h.},033$, ou $0^{h.},05$, suivant la capacité du tombereau.

Ayant ces différents temps pour une capacité C de tombereau, pour avoir ceux nécessaires au transport d'un mètre cube de terre, il suffit de multiplier ces premiers par le rapport d'un mètre cube à la capacité C, et en faisant la somme des valeurs obtenues on aura le temps T nécessaire au transport d'un mètre cube à R relais de 100^{m}; ainsi

$$T = \frac{\frac{10 \times C}{15 \times N} + R \times 0{,}067 + 0{,}033}{C}.$$

Supposant $N = 3$, $R = 1$ et $C = 0^{mc},50$, cette formule donne $T = 0^{h},422$.

Un travail organisé ainsi que nous venons de le supposer serait vicieux, puisque les deux chargeurs se reposeraient pendant toute la durée du mouvement et de la décharge du tombereau. Pour éviter cela, il faut employer deux tombereaux, dont l'un est en charge pendant que l'autre va à la décharge, et pour que les chargeurs ne perdent pas de temps, il suffit que le nombre R de relais soit tel, que le temps de la charge soit égal au temps employé au mouvement et à la décharge, et que l'on ait par conséquent

$$\frac{10 \times C}{15 \times N} = R \times 0,067 + 0,033;$$

l'on tire, pour le cas où C = 0^{m},50 et N = 3, R = 1,16 relais. le cas où il n'y a qu'un chargeur avec le conducteur, ce qui fait 2, cette formule donne R = 2 relais.

ns le transport au tombereau, les rampes ne doivent être incli- qu'au 1/20, et on ne prend tout de même pour l'équivalent d'un s horizontal de 30 mètres qu'une portion de rampe de 20 mètres ase, et par conséquent de 1 mètre de hauteur (665).

Transport vertical à la pelle, au bourriquet et à la hotte. Lors- n a à élever des terres verticalement, on peut placer des ouvriers s étages différents espacés de 1^{m},65, et compter que chaque ou- r, en 10 heures de travail, peut jeter 15 mètres cubes de terre étage à l'étage supérieur. On peut aussi disposer des rampes vant de 1^{m},65 pour 20 mètres de base, ce qui équivaut à un relais izontal de 30 mètres; ces deux manières d'opérer font voir que doit adopter la hauteur verticale 1^{m},65 pour relais.

ans un grand nombre de cas, on est obligé d'élever les terres tout ıit verticalement; on fait alors usage d'un treuil ordinaire mû à s d'homme, ou d'un treuil à tambour mis en mouvement par des vaux ou par des machines à vapeur.

'arbre du treuil ordinairement employé pour le montage des dé- is à bras d'homme a de 0^{m},15 à 0^{m},20 de diamètre, et 1^{m},00 à 1^{m},20 longueur; la manivelle a 0^{m},40 de rayon; le diamètre de la corde de 0^{m},03; la caisse ou panier, appelé *bourriquet*, destiné à rece- r les terres à élever a 0^{m},033 de capacité.

e panier mettant 20 secondes ou 0^{h},00556 pour s'élever de 5 mètres, urmonter d'un relais il emploiera $\frac{0,00556 \times 1,65}{5} = 0^{h},00183$; comme lescend de 5 mètres en 15 secondes ou 0^{h},00417, la descente d'un ais durera $\frac{0,00417 \times 1,65}{5} = 0^{h},00138$. De ces nombres, comme de ıs il faut 20″=0^{h},00556 pour décrocher un panier plein et en ac- ocher un vide, et 25″= 0^{h},00695 pour vider le panier, il résulte que ur élever le contenu 0$^{m.cub.}$,033 du panier à une hauteur de R re- is, il faut un temps représenté par

$$t = R\,(0,00183 + 0,00138) + 0,00556 + 0,00695 \text{ heures.}$$

R = 3, par exemple, on conclut $t = 0^{h},02214$.

Le temps nécessaire pour élever un mètre cube est $T = \frac{t \times 1}{0,033}$, et ıand R = 3, on a $T = \frac{0,02214 \times 1}{0,033} = 0^{h},671$

Comme pour manœuvrer une telle machine il faut cinq hommes :

un pour remplir le panier, deux pour tourner les manivelles, et les autres pour décrocher le panier et le vider, ces quatre derniers alternant leur travail, il faut donc 0,671 × 5 = 3h355 d'un ouvrier pour élever un mètre cube à la hauteur de trois relais.

Trois ouvriers étagés à 1m,65 l'un au-dessus de l'autre suffisant pour élever, à l'aide de la pelle, 15 mètres cubes de terre par jour; cela fait $\frac{3 \times 10}{15}$ = 2h d'un ouvrier pour élever un mètre cube à 3 relais. Il faut donc, quand cela est possible, substituer ce mode à l'usage du bourriquet.

A la percée du tunnel de Saint-Cloud (chemin de fer de Paris à Versailles), pour des profondeurs moyennes de puits de 21m,30, on a obtenu, en dix heures de travail, les résultats suivants, les prix ne comprenant ni les frais de matériel ni les frais généraux :

1° Un treuil mû à bras d'homme montait moyennement à chaque puits, à l'aide de baquets cubant 0m,053, un volume de 9m,56 de déblai compacte, ou 16m,67, foisonnement compris, et la dépense était :

	fr.
Pour quatre hommes à la manœuvre du treuil, à 3 francs par jour....	12,00
Soit par mètre cube de déblai compacte et par mètre de hauteur d'élévation.	[illegible]

2° Un treuil à manége (tambour de 1m,40 du diamètre, et levier d'attelage de 3m,50) mû par un cheval, montait moyennement à chaque puits avec des paniers coniques cubant 0m,071, un volume de 12mc,25 de déblai compacte, ou 21mc,30 de terre fouillée, et la dépense se divisait comme il suit :

	fr.
Pour deux chevaux et un conducteur.	13,00
Pour deux hommes recevant les paniers, à 3 francs.	6,00
Total	19,00
Soit par mètre cube de déblai compacte et par mètre de hauteur d'élévation	[illegible]

3° Un treuil à manége (diamètre du tambour 2m,50, le levier d'attelage 3m,50) mû par deux chevaux montait moyennement à chaque puits, avec des camions cubant chacun 0,30, un volume de 29mc,30 de déblai compacte, ou 51 mètres cubes de terre fouillée, et la dépense était :

Pour quatre chevaux et deux conducteurs	24,00
Pour trois hommes recevant et déchargeant les camions	9,00
Total.	33,00
Soit par mètre cube de déblai compacte et par mètre de hauteur.	[illegible]

Dans les trois expériences précédentes, les cordes s'enroulaient sur les treuils de manière à permettre la descente des baquets vides pendant la montée des baquets pleins.

Pour élever les terres par des puits pour le percement de tunnels, on fait encore usage de treuils dont l'arbre a 0m,30 de diamètre et environ 2m,70 de longueur, qui sont mus à l'aide d'une roue à chevilles de 4m,40 de diamètre, et armés d'un frein puissant dont la

e doit avoir $0^m,80$ environ, afin que l'ouvrier le manœuvre faci-
nt d'une seule main. A chaque extrémité de la corde est suspen-
ıne *benne* ou *bourriquet* cubant $0^m,25$.

argé d'une hotte, un manœuvre peut en une heure, à l'aide d'une
lle ou d'un escalier, faire 27 voyages à une hauteur moyenne de
ètres. La hotte cubant $0^m,03$, il en résulte que le volume élevé
) heures est $8^{mc},10$.

Transport à la banaste, au couffin et à dos d'âne. Ces moyens
surtout employés pour le transport des déblais et des matériaux
s les pays montagneux, où la pente trop rapide des chemins rend
u près impossibles les modes ordinaires de transport.

; *transport à la banaste et au couffin* est fréquemment employé
Algérie et dans le midi de la France, où il remplace la brouette,
nd les déblais doivent être transportés à de petites distances. La
aste est un panier en bois de châtaignier, cubant $0^m,01$. Le *couffin*
un panier en jonc d'une capacité à peu près égale à celle de la
aste. Ces paniers sont portés sur les épaules, par des hommes, à
nanière des coltineurs de charbon.

.e *transport à dos d'âne* est très-employé en Corse et en Algérie,
il remplace souvent le transport au camion et au tombereau. Il
fait en chargeant sur le dos de l'âne deux bennes ou deux couffins
ıne capacité de $0^m,04$ chacun.

5° *Transport par chemins de fer.* Au chemin de fer de Saint-Ger-
ıin, pour les tranchées des Batignolles, les wagons étant remor-
és par des chevaux et la distance de transport étant de 1000 à
00 mètres, le prix du transport de 1 mètre cube à 1000 mètres
st divisé en :

	fr.
Transport proprement dit	0,20
Réparation et graissage des wagons	0,08
Dépréciation	0,03
Total	0,31

La décharge est revenue à $0^f,13$ par mètre cube, y compris les
ıevaux qui conduisaient les wagons de la gare la plus voisine à la
écharge.

La distance de transport ayant été de 3000 mètres, on a fait usage
e locomotives, et le prix du transport d'un mètre cube à 1000 mètres
est divisé en :

	fr.
Transport proprement dit, c'est-à-dire salaire des mécaniciens, combustible et réparations	0,10
Réparation des wagons	0,24
Dépréciation des wagons	0,03
Total	0,37

La décharge des wagons est revenue, par mètre cube, à :

	fr.
Chevaux employés à traîner les wagons du point où les déposaient les locomotives jusqu'à la décharge et les ramener.	0,18
Ouvriers.	0,08
Total.	0,26

Ainsi, sous le point de vue de l'économie, il y aurait avantage à remorquer les wagons par les chevaux ; mais les travaux s'exécutent avec moins de rapidité.

Nous allons donner un aperçu de la manière dont se sont divisées les dépenses de la tranchée de Clamart, chemin de fer de Versailles (rive gauche), d'après les séries de prix établies par M. Brabant. Les nombres qui suivent sont extraits du *Portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer*, de MM. Perdonnet et Polonceau.

Le cube total des déblais était de 378000 mètres cubes ; mais comme les trois quarts seulement ont été transportés d'un même côté de la tranchée, à une distance supérieure à 1000 mètres, les prix suivants sont établis dans l'hypothèse d'un volume de 300000 mètres à transporter à une distance de 1000 mètres.

L'accélération des travaux a dû faire sacrifier l'argent pour économiser le temps (les travaux devant être terminés en vingt mois, il a fallu effectuer un transport de 600 mètres cubes par journée de 10 heures de travail).

Les wagons contenaient $1^{m},50$ de terre et descendaient pleins un chemin incliné à $0^{m},004$ par mètre. Trois chevaux en remorquaient 10 à la vitesse de 25000 mètres par jour, et une locomotive dont les pistons avaient $0^{m},25$ de diamètre en traînait 20 à la vitesse de [illegible] mètres par jour de 10 heures.

On a compté pour le temps perdu à la charge et à la décharge [illegible] minutes par voyage, quels que soient le mode de traction et la distance de transport.

Le transport s'effectuant avec des chevaux, il a fallu, pour 600 mètres cubes à transporter par jour, 150 wagons (80 à la charge et décharge, 40 sur la voie, 10 à la réserve et 20 en réparation). Avec les locomotives, il a fallu 132 wagons (80 en charge et décharge, 20 sur la voie, 10 en réserve, 20 en réparation et 2 wagons intermédiaires). Le nombre des locomotives doit être double de celui nécessaire ; ainsi, pour une que l'on avait en marche, il en fallait une seconde en réserve ou en réparation.

u transport d'un mètre cube de déblai à une distance de 1 000 mètres, sur un ɪin dont la pente est de 0m,004 par mètre, les wagons étant remorqués par des aux.

	fr.
à 5 pour 100 de 375 000 fr. qu'a coûté le matériel d'exploitation, *:préciation de ce matériel*	0,4625
ien du matériel.	0,2000
.ériel d'exploitation comprend 150 wagons de terrassement à 650 fr. ièce, 3 000 mètres de doubles voies en fer à 80 fr., 40 changements 'oies provisoires à 225 fr. pièce, hangar, bâtiments, outils, 2 écha-.s de décharge.	
démontage et entretien des voies provisoires.	0,0873
port des déblais.	0,3246
ɪnsport exige 8 chevaux, payés 48 fr. par jour, pour conduire les ons au point où ils doivent être pris par les chevaux chargés du ɪsport; 3 chevaux et 2 conducteurs, payés 24 fr. par jour, par chaque wagons portant 15 mètres cubes de terre à 25 000 mètres par jour, ninutes de temps perdu (temps pendant lequel les 3 chevaux et les ducteurs ne marchent pas); 12 ouvriers pour pousser et décrocher les ;ons, 30 fr. par jour; aiguilleurs, nettoyeurs de rails et graisseurs, ouvriers payés 24 fr. par jour.	
le et charge	0,6000
ses et jets à la pelle ou transports en brouettes nécessaires pour char- en wagons.	0,3000
argement et manœuvre des ponts de décharge, 24 ouvriers à 84 fr. par ɪr.	0,1400
nses diverses (manœuvres pour travaux divers, 16 ouvriers à 40 fr. par ɪr; surveillants et gardiens, 10 employés à 30 fr. par jour.	0,1467
Total.	2,2314

ɔur un supplément de transport à 1 000 mètres, l'excès de dépense t que de 0f,0402.

ɪr un chemin horizontal, au lieu de 3 chevaux pour conduire 10 ons, il en faudrait 5, ce qui porterait le prix du mètre cube trans-téà 1 000 mètres à 2f,3085, et l'excès par 1 000 mètres de distance en s, à 0f,0467.

i le chemin montait de 0m,004 par mètre, il faudrait 8 chevaux et ɔnducteurs payés 54 francs par jour, ce qui porterait les prix pré-ents à 2f,4243 et 0f,0564.

uand les wagons sont remorqués par une locomotive, il faut 132 ;ons, 2 locomotives du prix de 33 000 francs pièce, 12 chevaux pour ɛner les wagons au point où la locomotive peut les prendre. La ɔmotive, estimée être de la force de 10 chevaux, produit une dé-se journalière évaluée à 101 francs. Ces diverses dépenses font que ɪrix du transport d'un mètre cube à 1 000 mètres est de 2f,3005 un chemin descendant de 0m,004 par mètre, 2f,3728 sur un chemin izontal, et 2f,5137 sur un chemin dont la pente ascendante est de ɔ04 par mètre. Pour ces divers chemins, l'augmentation de dépense ɪr un excès de 1 000 mètres de distance de transport est respective-nt 0f,0344, 0f,0391 et 0f,0466.

En effectuant le transport par plans automoteurs, ce qui est nécessaire toutes les fois que les déblais doivent être descendus à une grande profondeur, il faut le même nombre de wagons qu'avec des chevaux. 12 conducteurs de wagons et 15 chevaux, et le prix du transport du mètre cube à une distance de 1 000 mètres est de 2f,2861. Ce prix a été établi dans l'hypothèse où le plan automoteur a 200 mètres de longueur et 0m,05 de pente par mètre; cela suffit pour que les wagons acquièrent une impulsion nécessaire pour parcourir ensuite une distance de 800 mètres; ils pourraient même franchir un espace plus long; mais alors il faudrait leur laisser prendre sur le plan une vitesse qui serait dangereuse.

D'après les résultats précédents, et en supposant qu'un tombereau attelé de 2 chevaux serait payé 14 francs par jour de 10 heures, y compris le conducteur; que le temps perdu à la charge et à la décharge serait de 1/40 de jour, que deux chevaux pourraient traîner 0m,80 ou 1 mètre cube de terre en parcourant 36 000 mètres par jour, soit que le chemin serait en terre ou serait une route bien entretenue. MM. Perdonnet et Polonceau ont établi le tableau suivant:

TABLEAU du prix de revient du transport de 1 mètre cube de déblais sur distance de 1 000 mètres sur des chemins horizontaux.

DISTANCES de transport.	TRANSPORT AU TOMBEREAU sur chemins en terre.	TRANSPORT AU TOMBEREAU sur routes entretenues.	TRANSPORT EN WAGONS traînés par des chevaux.	TRANSPORT EN WAGONS traînés par des locomotives.
m.	fr.	fr.	fr.	fr.
1000	2.2195	1.7580	2.3085	[illegible]
1500	2.7955	2.1170	2.5420	2.5783
1600	2.9107	2.2248	2.5887	2.6175
1700	3.0259	2.3026	2.6354	[illegible]
1800	3.1411	2.3804	2.6821	[illegible]
1900	3.2563	2.4582	2.7288	[illegible]
2000	3.3715	2.5360	2.7755	2.7735
3000	4.5235	3 3140	3.2425	3.1648
4000	5 6755	4.0920	3.7095	[illegible]
4500	6.2515	4.4840	3.9430	3.7513
4600	6.3667	4.5588	3.9897	[illegible]
4700	6.4819	4.6366	4.0364	[illegible]

Ce tableau fait voir que, sous le rapport de l'économie, l'usage des wagons n'est plus avantageux que celui des tombereaux que pour des volumes de déblais considérables et pour des distances de transport supérieures à 1 000 mètres; cependant on y a souvent recours pour des distances moindres, parce que les chemins en terre sont impraticables avec des tombereaux par les temps humides, au lieu qu'a

wagons et des voies en fer on est rarement obligé d'interrompre
travaux.

est à remarquer que l'on peut diminuer notablement les prix du
eau précédent quand les circonstances n'exigent pas, comme
la vallée de Clamart, une exécution aussi rapide.

plus habituellement, pour les grands terrassements, on fait usage
brouette pour les distances de transport de moins de 100 mètres;
ombereau pour celles de 100 à 500 mètres; des wagons traînés par
chevaux pour celles de 500 à 2000 mètres, et des wagons remorqués
des locomotives pour des distances de 2000 mètres et au-dessus.

n a donné différentes formules pour calculer les prix de revient
ransport en wagons traînés par des chevaux, du mètre cube de ter-
ement et de ballast; la formule (1) a été établie par M. Duvignaud,
nieur en chef des ponts et chaussées, pour les transports exécutés
la 2ᵉ section du chemin de fer d'Orléans à Bordeaux, entre Poitiers
ibourne; elle comprend les mains-d'œuvre supplémentaires pour
rgement et déchargement, les faux frais, le bénéfice de l'entrepre-
r, la fourniture des wagons et des voies formées de bandes de fer
$^{m},075$ sur $0^{m},02$ posées de champ, sans coussinets, sur des petites
erses en bois blanc; elle ne comprend pas les frais de fouille et de
rge.

$$x = \frac{L+8}{V} \times 900 + 0,25 + 0,045D \pm DI. \qquad (1)$$

prix du mètre cube en francs;
longueur cumulée du déblai et du remblai, exprimée en hectomètres;
volume transporté, en mètres cubes;
distance du centre de gravité du déblai à celui du remblai, en hectomètres;
déclivité.

our les ateliers où les voies servent pour la seconde fois, on a

$$x = \frac{L+8}{V} \times 250 + 0,25 + 0,045D \pm DI.$$

a formule (2) a été appliquée au chemin de fer du Nord:

$$x = \frac{15D + 2000}{V} \times 0,00031D + 0,40, \qquad (2)$$

distance moyenne du transport, en mètres.

Cette formule suppose :

Que la longueur des voies provisoires avec rails définitifs est égale à 8D;
Que la longueur des voies provisoires établies sans rails définitifs est de 800 mètres;
Que le développement total des voies posées, déplacées ou enlevées pour l'exécution des travaux est égale à 6D.

a formule (3) a été établie par M. Brabant, en 1847, dans le but de

calculer approximativement les frais de transport en wagons par la tranchée à ouvrir sur la ligne de Lille à Dunkerque.

$$x = \frac{D+20}{V} \times 0,50 + 0,10 + 0,01D.$$

D distance moyenne de transport en hectomètres;
V volume à transporter en milliers de mètres.

Cette valeur de x comprend la fourniture et l'entretien du matériel, wagons et voies provisoires formées avec un matériel provisoire (*); les frais de pose, dépose, repose et entretien des voies, les mains-d'œuvre supplémentaires pour chargement et déchargement, et généralement toutes les dépenses, sauf celles de fouille et charg.

A. *Tableau dressé par M. Brabant, d'après les formules précédentes et donnant le prix du transport d'un mètre cube de déblais ou de ballast, avec wagons de terrassement ordinaires traînés par des chevaux sur voies provisoires,* en supposant la voie horizontale.

FORMULES.	DISTANCE de transport.	Prix du mètre cube pour un volume de						
		25 000	50 000	75 000	100 000	150 000	200 000	300 000
		fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
(1)	500	1.231	0.853	0.727	0.664	0.601	0.570	[illegible]
	1000	1.636	1.168	1.012	0.934	0.856	0.817	[illegible]
	1500	2.041	1.483	1.297	1.204	1.111	1.065	[illegible]
	2000	2.446	1.798	1.582	1.474	1.366	1.312	[illegible]
	2500	2.851	2.113	1.867	1.744	1.621	1.560	[illegible]
	3000	3.256	2.428	2.152	2.014	1.876	1.807	[illegible]
(2)	500	0.935	0.745	0.682	0.650	0.618	0.603	[illegible]
	1000	1.390	1.050	0.937	0.880	0.823	0.795	[illegible]
	1500	1.845	1.355	1.192	1.110	1.028	0.988	[illegible]
	2000	2.300	1.660	1.447	1.340	1.233	1.180	[illegible]
	2500	2.755	1.965	1.702	1.570	1.438	1.373	[illegible]
	3000	3.210	2.270	1.957	1.800	1.643	1.565	[illegible]
(3)	500	1.100	0.850	0.767	0.725	0.683	0.663	[illegible]
	1000	1.400	1.100	1.000	0.950	0.900	0.875	[illegible]
	1500	1.700	1.350	1.233	1.175	1.116	1.088	[illegible]
	2000	2.000	1.600	1.467	1.400	1.333	1.300	[illegible]
	2500	2.300	1.850	1.700	1.625	1.550	1.513	[illegible]
	3000	2.600	2.100	1.933	1.850	1.766	1.725	[illegible]

B. *M. Brabant a également dressé le tableau comparatif suivant des prix moyens du transport sur voies horizontales d'un mètre cube de terre ou de ballast du poids moyen de* 1600 *kil.*

(*) Pour des cubes d'une certaine importance, la formule précédente peut encore s'appliquer au cas où les voies provisoires sont formées avec un matériel définitif.

MODE DE TRANSPORT.										
À la brouette.	Au camion traîné par des hommes.	A dos de mule.	Au tombereau traîné par des chevaux.	VOLUME de 100.000 mètres transportés sur voies provisoires avec wagons ordinaires de terrassement.		VOLUME de 20.000 mètres transportés sur voies définitives avec locomotives à la vitesse de 25 kilom. à l'heure.			Sur COURS D'EAU (2).	
				Chevaux au pas.	Locomotive à la vitesse de 12 kilom. à l'heure.	Tous frais compris (1).	Non compris la dépense des voies.	Dépense des véhicules seulement.	Grand bateau de 30 mètres cubes à un cheval.	Petit bateau de 2 mètres cubes à un homme.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50 D	0.10 + 0.25 D	0.20 + 0.25 D	0.30 + 0.12 D	0.50 + 0.045 D	0.56 + 0.036 D	0.45 + 0.01 D	0.45 + 0.005 D	0.20 + 0.005 D	0.24 + 0.004 D	0.08 + 0.008 D
045	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
090	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
135	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
180	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
225	0.225	0.325	»	»	»	»	»	»	»	»
270	0.250	0.350	»	»	»	»	»	»	»	»
315	0.275	0.375	»	»	»	»	»	»	»	»
360	0.300	0.400	»	»	»	»	»	»	»	»
405	0.325	0.425	»	»	»	»	»	»	»	»
.450	0.350	0.450	0.420	0.545	0.596	0.460	0.455	0.205	0.244	0.088
.540	0.400	0.500	0.444	0.554	0.603	0.462	0.456	0.206	0.245	0.090
.630	0.450	0.550	0.468	0.563	0.610	0.464	0.457	0.207	0.246	0.094
720	0.500	0.600	0.492	0.572	0.618	0.466	0.458	0.208	0.246	0.093
810	0.550	0.650	0.516	0.581	0.624	0.468	0.459	0.209	0.247	0.094
900	0.600	0.700	0.540	0.590	0.632	0.470	0.460	0.210	0.248	0.096
»	0.850	0.950	0.660	0.635	0.668	0.480	0.465	0.215	0.252	0.104
»	1.100	1.200	0.780	0.680	0.704	0.490	0.470	0.220	0.256	0.112
»	1.350	1.450	0.900	0.725	0.740	0.500	0.475	0.225	0.260	0.120
»	1.600	1.700	1.020	0.770	0.776	0.510	0.480	0.230	0.264	0.128
»	1.850	1.950	1.140	0.815	0.812	0.520	0.485	0.235	0.268	0.136
»	2.100	2.200	1.260	0.860	0.848	0.530	0.490	0.240	0.272	0.144
»	2.350	2.450	1.380	0.905	0.884	0.540	0.495	0.245	0.276	0.152
»	2.600	2.700	1.500	0.950	0.920	0.550	0.500	0.250	0.280	0.160
»	»	»	1.620	0.995	0.956	0.560	0.505	0.255	0.284	0.168
»	»	»	1.740	1.040	0.982	0.570	0.510	0.260	0.288	0.176
»	»	»	1.860	1.085	1.028	0.580	0.515	0.265	0.292	0.184
»	»	»	1.980	1.130	1.064	0.590	0.520	0.270	0.296	0.192
»	»	»	2.100	1.175	1.100	0.600	0.525	0.275	0.300	0.200
»	»	»	2.220	1.220	1.130	0.610	0.530	0.280	0.304	0.208
»	»	»	2.340	1.265	1.172	0.620	0.535	0.285	0.308	0.216
»	»	»	2.460	1.310	1.208	0.630	0.540	0.290	0.312	0.224
»	»	»	2.580	1.350	1.244	0.640	0.545	0.295	0.316	0.232
»	»	»	2.700	1.400	1.280	0.650	0.550	0.300	0.320	0.240
»	»	»	»	1.625	1.460	0.700	0.575	0.325	0.340	0.280
»	»	»	»	1.850	1.640	0.750	0.600	0.350	0.360	0.320
»	»	»	»	»	2.000	0.850	0.650	0.400	0.400	0.400
»	»	»	»	»	2.360	0.950	0.700	0.450	0.440	0.480
»	»	»	»	»	4.160	1.450	0.950	0.700	0.640	0.880
»	»	»	»	»	5.960	1.950	1.200	0.950	0.840	1.280
»	»	»	»	»	»	2.450	1.450	1.200	1.040	1.680
»	»	»	»	»	»	2.950	1.700	1.450	1.240	2.080
»	»	»	»	»	»	5.450	2.950	2.700	2.240	4.080

r, wagons, remaniement des déblais, déchargement, etc.
ris les frais de chargement et de déchargement, et ceux de transport du lieu d'extraction au bateau —
au d'emploi.

Remarques sur le tableau précédent :

1re. Les wagons sont supposés porter 2 mètres cubes ; un tombereau attelé de trois chevaux est du prix de 12 fr. par jour, il porte $0^{mc},666$, parcourt 30 000 mètres, et le temps perdu à la charge et à la décharge est de 15 minutes.

2e. Il est évident que l'on ne peut établir de comparaison qu'entre les prix des 2 premières colonnes du tableau.

3e. Dans le cas où le poids du mètre cube ne serait pas 1 600 kilog., à l'exception des prix des colonnes 5 et 6, tous les autres varieraient proportionnellement au poids ; quant à ceux de ces colonnes qui dépendent d'éléments très-importants qui ne varient pas comme les poids à transporter, on s'éloignerait peu de la vérité en adoptant moitié de la variation proportionnelle au poids.

4e. Sur les rampes, aux distances mesurées horizontalement, on ajoutera 10 fois la distance verticale du centre de gravité du déblai à celui du remblai, lorsqu'il s'agira de transporter à la brouette, au camion, à dos de mule et au tombereau ; 80 fois cette distance verticale pour le transport en wagons, et 1 000 fois pour le transport en bateaux quand il n'y a pas d'écluses ; dans le cas contraire, on compte de 10 à 15 minutes de temps perdu par écluse, suivant la hauteur de chute.

Pour les pentes, on retranche des distances horizontales moitié des quantités qu'on ajoute pour les rampes. Dans la pratique, on tient rarement compte de ces réductions.

5e. Les éléments concernant les prix des colonnes 5, 6 et 7 sont :

Matériel des ateliers des voies en fer et des wagons moins-value, entretien, pose, dépose, repose, etc. ;

Transport proprement dit, frais de traction, graissage des wagons, formation des convois, manœuvre des aiguilles et nettoyage des voies ;

Déblais, remaniement à la charge, ouverture de la cunette et déchargement ;

6e. Si l'on voulait établir une comparaison entre les prix des tableaux précédents et ceux de la page 994, il faudrait d'abord retrancher de ces derniers la fouille et la charge, comprises pour $0^{f},60$, prix payé à la tranchée de Clamart, ouverte dans une marne très-compacte, mêlée de terre et de cailloux d'une extraction difficile.

La grande différence que l'on aurait encore doit être attribuée aux perfectionnements apportés dans les travaux depuis 1838 ; à ce que les chiffres du tableau 8 sont des moyennes, au lieu qu'à Clamart la main-d'œuvre est d'un prix très-élevé ; enfin, à ce que les déblais de Clamart étaient d'un poids énorme, et qu'ils foisonnaient de 50 p. 100 ; de plus encore, les travaux ont été poussés avec une rapidité exceptionnelle.

673. TABLEAU DU PRIX APPROXIMATIF DU TRANSPORT DE 1 MÈTRE CUBE DE DÉBLAI.

Les résultats de ce tableau ont été établis dans les hypothèses :

1° Que pour les transports, autres que ceux en wagons, les prix comprennent la fourniture du matériel, qui est du reste relativement très-faible, le temps de la voiture pendant le chargement, le roulage, le temps et les frais de déchargement, mais non les frais de chargement ;

2° Que, pour le transport en wagons traînés par des chevaux, les prix comprennent le transport proprement dit, le graissage des wagons, l'entretien, le renouvellement des pièces usées et la dépréciation du matériel, mais non l'acquisition des wagons et l'établissement de la voie ;

3° Que les chemins sont horizontaux ; dès que la pente atteint 1/6 pour le transport à la banaste et à dos d'âne, et 1/12 pour le transport à la brouette, au camion et au tombereau, l'étendue des relais doit être diminuée de 1/3 ;

Que le prix de la journée de dix heures de travail est de :

	fr.
Pour le manœuvre..	2,50
Pour une voiture à un cheval, conducteur compris	6,50
Idem à deux chevaux, *idem*	12,00
Pour un âne, un homme conduisant six à douze ânes compris. . .	2,50

MODES DE TRANSPORT.	PRIX DU TRANSPORT d'un mètre cube de déblai à un relais de		
	30 mètres.	100 mètres.	pour chaque 100 mètres en plus des 100 premiers
	fr.	fr.	fr.
la brouette.	0.125	0.420	»
u camion.	0.150	0.333	»
u tombereau.	»	0.110	0 08
u wagon.	»	0.380	0.03
la banaste ou au couffin.	0.360	1.160	»
dos d'âne.	0.610	0.700	0.13

874. *Foisonnement et compression des déblais.*

TABLEAU du volume de déblais que donne un mètre cube d'excavation dans diverses terres.

NATURE DES TERRES.	CUBE DU DÉBLAI	
	sans compression et mesuré cinq jours après la fouille	comprimé au maximum avec le pilon ou avec de l'eau.
	m. c.	m. c.
Terre végétale de diverses espèces (alluvions, sables). .	1.10	1.05
Terre franche très-grasse.	1.20	1.07
Terre marneuse et argileuse moyennement compacte. .	1.50	1.30
Terre marneuse et argileuse très-compacte et très-dure.	1.70	1.40
Terre crayeuse.	1.20	1.10
Tuf dur ou moyennement dur.	1.55	1.30
Roc à la mine réduit en moellons.	1.65	1.40

875. *Construction des chaussées.* Tous les déblais et remblais étant ectués, on procède à la construction de la chaussée, ou partie lide de la route. On commence par creuser la forme qu'elle doit cuper, en jetant à la pelle les terres de part et d'autre sur chacun s accotements, comme l'indique la figure 24, planche 111. Il est ident que si la route était en remblai, on ménagerait à l'avance

cette forme, dont le fond est à peu près incliné comme la surface de la chaussée (654).

676. *La chaussée étant pavée*, on calcule la profondeur de l'encaissement d'après la hauteur des pavés et l'épaisseur de $0^m,10$ à $0^m,15$ que l'on donne à la couche de sable, sur laquelle on les pose, quelles que soient leur nature et leur forme, afin de répartir la charge que chaque pavé peut avoir à supporter sur une surface plus grande que sa base.

Les pierres que l'on emploie plus particulièrement comme pavés sont le grès, le granit, le basalte, le porphyre, le schiste, le calcaire et les cailloux roulés (564 et suivants). A l'exception de ces derniers, que l'on emploie tels qu'on les trouve, pourvu qu'ils aient des dimensions convenables, les pavés faits avec les autres pierres se débitent en cubes dont les dimensions varient de $0^m,16$ à $0^m,25$.

Dans les rues, le pavé s'étend dans toute la largeur qui sépare les maisons ou les trottoirs qui les longent; mais pour les routes, il ne se fait que sur la chaussée, ce qui oblige de le terminer de chaque côte par un rang de pavés plus forts, lesquels, par leur grand empatement, quoique très-faiblement maintenus du côté de l'accotement, ne sont pas renversés par les voitures qui passent de la chaussée sur les accotements.

Aux environs de Paris, les pavés ordinaires ont $0^m,22$ de côté, tandis que ceux des bordures ont $0^m,22 \times 2 = 0^m,44$ de longueur, $0^m,22 \times 1,5 = 0^m,33$ de largeur, et une épaisseur ordinairement un peu moindre que $0^m,33$. Aujourd'hui la largeur se réduit à $0^m,22$, afin que les bordures se relient bien avec les pavés (564 et 566).

Sur la couche de sable de $0^m,13$ environ d'épaisseur étalée sur le fond de l'encaissement qui doit recevoir la chaussée, on place les pavés par rangs perpendiculaires à l'axe de la route, en ayant soin que les joints longitudinaux d'un rang correspondent, autant que possible, au milieu des pavés des rangs voisins. On a la précaution de réunir les pavés de même grandeur et de même dureté.

Avec des pavés cubique de $0^m,22$ à $0^m,23$ de côté, la quantité de sable employée par mètre carré de chaussée est de $0^{mc},13$ pour la forme, $0^{mc},03$ pour les joints, et $0^{mc},02$ pour couvrir le pavage, afin d'achever de remplir les joints, ce qui fait en tout $0^{mc},18$.

Quand, au lieu d'employer des pavés neufs, on fait usage de pavés déjà usés, à la couche de $0^m,13$ de sable on en ajoute une épaisseur convenable pour tenir toujours la surface de la chaussée à la même hauteur.

Il ne faut pas que les pavés se touchent; aussi, à cause du bombement assez fréquent de leurs faces, les joints ont-ils de $0^m,020$ à $0^m,0$[illegible] d'épaisseur; on prescrit ordinairement de ne leur donner que de $0^m,007$ à $0^m,008$; mais pour atteindre ce but, on serait obligé de les

ler, ce qui est coûteux et ne peut se faire que dans des cas parti-iers.

orsque deux rues très-fréquentées se croisent, pour que les roues voitures ne suivent pas les joints des rangs parallèles de pavés, on ce ces rangs parallèlement à l'axe du carrefour.

vant de livrer une rue à la circulation, on affermit chaque pavé is son alvéole et on l'amène au niveau convenable en le frappant c une *hie* du poids de 35 à 45 kilog. ; c'est seulement après cette ration que l'on recouvre le pavage de la dernière couche de sable)m,02 d'épaisseur.

ans les rues où il y a un ruisseau au milieu de la chaussée, si l'on çait un joint dans l'axe du ruisseau, il serait promptement creusé : les roues des voitures qui tendent naturellement à le suivre. Pour nédier à cet inconvénient, on a imaginé de poser chacun des pavés i forment le ruisseau de manière qu'un tiers de sa largeur se trouve n côté de l'axe du ruisseau et les deux autres tiers de l'autre. Cette position, qui réussit à la campagne, ne convient pas dans les les, où les petits barrages successifs que forment les pavés retien-nt les eaux ménagères, lesquelles, en se corrompant, répandent e mauvaise odeur. Il convient, dans ce cas, de former le ruisseau ec des pavés d'une longueur égale à une fois et demie celle d'un vé ordinaire, dont la face supérieure est taillée concave et de ma-ère que l'axe se trouve au tiers de sa longueur.

Dans les localités où l'on fait usage de cailloux roulés pour le pavage s rues, on les dispose comme les pavés cubiques, en plaçant le gros ut en bas, afin qu'ils ne s'enfoncent pas sous les charges qu'ils ont supporter. Pour obtenir un pavé plus uni, on place quelquefois le os bout en haut, mais en inclinant les pavés ; malgré cette inclinai-n, le pavage est moins solide que par la première disposition.

Les vides étant beaucoup plus grands entre les cailloux roulés l'entre les pavés cubiques, leur mise en œuvre absorbe un plus and volume de sable que celle de ces derniers.

On juge de la qualité des pavés :

Par la densité ; celle des pavés en grès des environs de Paris est de 2,540, au lieu que celle des grès tendres de Fontainebleau n'est que de 2,390 ;

Par la quantité d'eau qu'ils absorbent quand ils sont immergés ; les plus durs absorbent 1/569 d'eau, et les plus tendres 1/51 ;

Par le son qu'ils rendent sous le choc du marteau ; ce son est d'autant plus sourd qu'ils sont plus tendres ou plus feuillés.

677. *Pour les chaussées en empierrement*, si le sol est peu résistant, n commence par placer sur tout le fond de l'encaissement de la aussée une assise de pierres plates, pour servir de fondation et em-êcher les petites pierres de pénétrer dans le sol. Sur ces pierres lates, on repose les bases de pierres autant que possible coniques et

de 0m,15 à 0m,20 de hauteur, et sur ces dernières on place les pierres concassées, qu'il est bon de répandre par couches que l'on comprime au fur et à mesure avec une hie ou un rouleau en fonte, afin qu'elles s'enchevêtrent bien les unes dans les autres et dans les aspérités des pierres coniques. On peut encore comprimer les couches successives de pierres en faisant passer dessus les voitures de roulage. Il faut avoir soin de refermer les ornières au fur et à mesure qu'elles se forment.

Quand le sol est déjà résistant par lui-même, on se dispense de l'assise de pierres plates ; on repose directement sur le sol les bases des pierres coniques, que l'on choisit avec le plus d'empatement possible, et dessus on place les pierres concassées comme dans le premier cas. Au lieu de pierres on emploie quelquefois une couche de sable pour consolider le sol.

Ces chaussées sont maintenues latéralement par deux rangs de bordures en fortes pierres prismatiques, que l'on place de manière que leurs arêtes latérales soient parallèles à l'axe de la route ; il convient que ces prismes soient triangulaires, afin que, reposant par une face latérale, ils présentent en haut une arête, laquelle ne produit pas l'effet d'une enclume pour briser les petites pierres sous les roues des voitures, comme le ferait une surface plane ; cette dernière circonstance oblige de faire reposer les bordures par une arête, lorsque leur forme est un prisme à base carrée. Ces bordures se maintiennent du côté des accotements par un bourrelet en pierres dont la grosseur diminue depuis le bas jusqu'en haut.

Quand le sol est solide et non sujet à se délayer, toute la chaussée n'est composée que de petites pierres semblables à celles employées pour former la dernière couche dans les cas précédents. Ce mode de construction est souvent employé. C'est surtout dans ce cas qu'il faut avoir soin de comprimer la chaussée avant de la livrer à la circulation ; à cet effet on fait usage de rouleaux compresseurs, dont on fait varier à volonté le poids depuis 3 000 jusqu'à 9 000 kilog., et qui sont quelquefois traînés par 10 ou 12 chevaux.

L'épaisseur des chaussées construites uniquement en petits matériaux varie de 0m,15 à 0m,30, suivant la nature du sol et le poids des voitures ; celle des chaussées à un rang de pierres coniques varie de 0m,30 à 0m,35, et celle à deux assises de grosses pierres, de 0m,40 à 0m,45.

Les meilleures pierres employées à la construction des chaussées sont celles qui résistent à la gelée, qui sont anguleuses, afin qu'elles se relient facilement, et qui sont dures, mais non au point de ne pouvoir former les détritus nécessaires à leur liaison ; celles qui remplissent le mieux toutes ces conditions sont le muschelkalk, le calcaire dur, le silex anguleux non fragile.

petites pierres doivent pouvoir passer dans tous les sens dans
ıeau de 0m,06 de diamètre. Elles doivent être purgées de terre;
le-ci, par les temps de pluie et surtout de gelée et de dégel, se
et désunit les matériaux qui composent la chaussée.

pierres concassées fournissent facilement les détritus néces-
à leur liaison; mais lorsqu'on fait usage de gros gravier, qui
me que très-difficilement des détritus, on est obligé d'y mé-
· une certaine quantité de sable, ou de briser à l'avance les
ros galets.

olume des vides est les 0,38 du volume total pour le gravier et
17 pour les pierres concassées; aussi, après le tassement com-
ın mètre cube est-il réduit ordinairement à 0mc,71. Quelques
ieurs ont imaginé de remplir les vides au moment de la construc-
ı l'aide de petit gravier et même de détritus.

3. *Chaussée sur un sol compressible ou mouvant.* Lorsqu'une route
rse un sol tourbeux ou vaseux d'une certaine profondeur, il con-
de la reposer sur deux assises de fascines se croisant à angle
, et s'étendant de part et d'autre des remblais, que l'on a soin de
sir les plus légers possibles.

s facines, tout en diminuant les chances d'enfoncement de la
e et les affaissements partiels, ont encore l'avantage de la main-
r plus sèche.

ıe route construite sur un sol glaiseux est sujette à des change-
ts de forme par suite de son glissement sur la glaise humide. On
: cet inconvénient en construisant des *pierrés*, petits canaux for-
de deux petites murettes en pierres sèches, que l'on recouvre
e large pierre plate. Ces canaux, auxquels on donne de 0m,10 à
0 de largeur, partent de la forme de la chaussée et viennent aboutir
fossés en passant sous les accotements. Si la route est en pente,
ıierrés partent de la forme et vont aboutir aux fossés par la ligne
lus grande pente. Si la route est horizontale, on dispose longitu-
ılement la forme en pente et contre-pente, et à chaque point bas
tablit un pierré normal à l'axe de la route. Ces pierrés, en main-
ınt la route sèche, ont l'avantage d'empêcher la glaise de se dé-
nper et par suite de se prêter au glissement (459).

79. *Cassis.* Lorsqu'une route traverse un vallon à fleur du sol, et
ce vallon ne fournit des eaux qu'accidentellement, on fait passer
eaux sur la route, mais en ayant soin de la paver de part et d'autre
a ligne basse, jusqu'au-dessus du niveau que peuvent atteindre les
x; par cette disposition, les eaux ne peuvent pas attaquer la route.
ıut que ce ruisseau transversal, que l'on appelle *cassis*, ait, sur la
te, une pente assez grande pour que les eaux n'y laissent pas dé-
ser le limon qu'elles entraînent.

380. *Écharpes.* Nous avons déjà dit qu'afin d'éviter que les eaux plu-

viales suivent les frayés des roues, on donnait à la route une pente transversale ; mais cela ne suffit pas dans le cas où la route a une forte pente longitudinale et qu'elle est sujette à être souvent mouillée. Dans ce cas, on force l'eau à s'écouler latéralement en établissant des bourrelets en petits matériaux sur la surface de la route. Ces petites digues, que l'on appelle *écharpes*, ont transversalement une pente très-douce du côté d'aval, afin de ne pas former des obstacles trop difficiles à franchir par les voitures ; du côté d'amont, on leur donne une pente d'environ 0m,05 en sens contraire de celle de la route.

Longitudinalement, les écharpes partent de l'axe de la route, et elles sont dirigées suivant la ligne de plus grande pente de la surface de la route. Pour déterminer cette ligne de plus grande pente, on prend sur l'axe de la route le point A, duquel doit partir l'écharpe ; on trace une ligne AB dirigée suivant l'axe de la route et une autre AC normale à AB ; sur ces lignes on prend deux points qui soient de niveau, c'est-à-dire à une même distance verticale au-dessous du point A ; on joint ces deux points par une ligne, qui est horizontale et placée sur la surface de la route ; on abaisse du point A une perpendiculaire à cette horizontale, et cette perpendiculaire est la ligne de plus grande pente.

Si la route est bombée, l'écharpe a la forme d'un chevron, et si elle n'a qu'une pente transversale, l'écharpe est tout entière placée dans la même direction, et elle est alors véritablement une écharpe.

681. *Fossés en gradins.* Lorsque les fossés sont construits dans un sol affouillable et qu'ils ont une forte pente, afin de diminuer la vitesse des eaux, on dispose les fossés en gradins, en construisant en pierres sèches des murs de chute pour retenir les terres, et des enrochements au pied de ces murs pour éviter les affouillements (451 et 653).

682. *Entretien des routes pavées.* Cet entretien se fait *par relevés à bout* et par *entretien simple.*

1° *Un relevé à bout* consiste à enlever tous les pavés, pour découvrir complétement une certaine étendue de la forme ; à piocher cette forme pour lui rendre son élasticité ; à enlever le sable qui est devenu terreux ; à rapporter du nouveau sable pour compenser celui rejeté ainsi que l'usure des pavés, afin de replacer la surface du pavage au niveau primitif, et à reconstruire la chaussée comme si elle était neuve, en ayant soin de mettre au rebut tous les pavés de mauvaise qualité, et ceux auxquels l'usure a donné des formes défectueuses ou des dimensions trop faibles.

A Paris, tous les pavés ayant moins de 0m,16 d'épaisseur sont rebutés, et ordinairement ce rebut s'élève à 1/8.

A l'origine du relevé à bout on pose deux rangs de pavés neufs, afin de marquer le point où commence le travail ; puis on place tous les pavés vieux, en ayant soin de réunir, autant que possible, ceux de mêmes dimensions et de même dureté ; on termine ensuite le travail

s pavés neufs. Si le relevé à bout avait une certaine étendue, éviter le transport des pavés vieux, de distance en distance on ait quelques rangs de pavés neufs.

aris, avec des pavés neufs, un mètre carré de relevé à bout exige de sable pour refraîchir la forme, $0^{mc},03$ pour les joints, et pour couvrir l'ouvrage, ce qui fait en tout $0^{mc},07$; avec les vieux, outre ces $0^{mc},07$ de sable, il en faut $0^{mc},03$ pour com- r l'usure des pavés.

aris, les rues très-fréquentées sont relevées à bout à peu près es six ans; quelques-unes, établies en mauvais pavés ou sur un gileux, le sont tous les trois ans; on relève les moins passagères es vingt ans. Les routes des environs de Paris sont relevées à tous les huit à quinze ans.

L'entretien simple consiste à remplacer seulement çà et là quel- pavés cassés, ou à relever les parties de pavage enfoncées ou . Ce travail exige, avant de replacer les pavés, que l'on fasse à la forme les mêmes opérations que pour un relevé à bout. uantité de sable employé est ordinairement de $0^{mc},08$ par mètre de surface des pavés remplacés ou remaniés.

3. *Entretien des chaussées en empierrement. Cantonniers.* La na- des matériaux employés dans ce genre de chaussées exige un etien de tous les instants. Aussi des ouvriers sont-ils constamment ıpés à empêcher l'eau de séjourner sur la chaussée, à enlever la e et la poussière à mesure qu'elles se forment, et à prévenir les ıes et les ornières. C'est surtout dans les moments de pluie ou de l que ces soins sont indispensables à la conservation de la route. s ouvriers occupés à l'entretien des routes sont appelés *canton- s;* chacun d'eux est seul chargé des travaux d'une certain étendue oute, que l'on appelle *canton.* Quand, dans les mauvais temps, ils uffisent pas pour tous les travaux, on leur adjoint des ouvriers ap- s *auxiliaires.*

ous les trois cantonniers, il y en a un, appelé *cantonnier chef*, rgé de surveiller ses deux voisins et de les conseiller dans leurs aux. Le temps perdu à cette surveillance exige que son canton soit ns étendu que ceux de ses voisins.

ous ces cantonniers, chefs et ordinaires, sont surveillés par les pi- urs, les conducteurs et les ingénieurs, à des époques non fixées à ance, afin que la surveillance soit comme de tous les instants. petites lunettes permettent aux surveillants de voir depuis une nde distance, et par conséquent sans être aperçus, si les canton- rs font leur devoir. Les peines infligées aux cantonniers pris en ıtravention consistent en retenues sur le salaire.

es cantonniers doivent choisir les temps humides pour rapporter matériaux sur la route, parce qu'alors ils peuvent enlever facile-

ment la boue, et de plus la surface de la route étant un peu ramolli, sa liaison avec les pierrailles rapportées est plus facile.

Il faut éviter que la boue et la poussière séjournent sur la route, avoir soin de les enlever avant de replacer des matériaux, surtout si la route repose sur un sol crayeux ou glaiseux, parce que ces détritus pénétrant dans la chaussée, l'eau qui s'y infiltre désunit en se congelant toutes les parties de la chaussée.

Dans le Jura, où l'on emploie des pierres calcaires d'une qualité médiocre, M. Monnet, ingénieur des ponts et chaussées (*Annales*, 1857), a reconnu que les bonnes chaussées renferment de $0^{mc},35$ à $0^{mc},45$ de détritus pour un mètre cube de pierre ; qu'elles deviennent médiocres quand la proportion de détritus atteint $0^{mc},50$, et mauvaises quand elle atteint $0^{mc},75$.

Pour relever une flache quelconque, M. Monnet fait piquer dans toute son étendue une forme de $0^{m},06$ à $0^{m},07$ de profondeur uniforme et à bords verticaux ; puis, après avoir fait balayer avec soin les détritus, et répandre au besoin un peu d'eau, on procède au remplissage avec les pierres que l'on a préalablement mélangées avec des détritus mouillés, de manière à en faire une espèce de béton composé de quatre parties de pierres pour une de boue de route. Ce béton est tassé avec le plus grand soin au moyen d'un pilon en bois de $0^{m},25$ à $0^{m},30$ de diamètre à la base et du poids de 12 à 15 kilog. On termine le damage après avoir répandu des pierres plus petites non mélangées de détritus. Jusqu'à ce que la prise soit complète, on a soin de maintenir la surface unie et polie, en effaçant, à l'aide du pilon, les arrachements faits par les pieds des chevaux ou les traces laissées par les roues des voitures.

Aux termes du règlement auquel sont soumis les cantonniers, ils doivent se pourvoir à leurs frais :

1° D'une brouette ;
2° D'une pelle en fer ;
3° *Id.* en bois ;
4° D'une *houe* ou *tournée*, outil formant pioche d'un côté et pic de l'autre ;
5° D'un racloir en fer ;
6° *Id.* en bois ;
7° D'un râteau en fer ;
8° D'une pince en fer ;
9° D'une masse en fer pour casser les pierres ou cailloux ;
10° D'un cordeau de 20 mètres.

Les chefs cantonniers doivent être munis, en outre :

1° De trois nivelettes ou voyants ;
2° D'un niveau à perpendiculaire gradué, pour indiquer les pentes ;
3° D'un double mètre.

'administration fournit elle-même les balais nécessaires à l'enlèvement des détritus, et elle confie de plus à chacun :

Un anneau en fer de 6 centimètres de diamètre, pour faire et vérifier le cassage des matériaux d'entretien ;
La plaque de cuivre portant en découpure le mot *cantonnier ;*
Le brassard que les chefs cantonniers portent au bras gauche ;
Le livret renfermé dans un étui en fer-blanc ;
Enfin, un jalon de 2 mètres de longueur, divisé en décimètres, ferré par le bas, et garni par le haut d'une plaque en forte tôle, sur chacune des faces de laquelle est indiqué en chiffres très-apparents le numéro du canton. Ce jalon doit toujours être planté sur la route, à moins de 100 mètres de distance de l'endroit où travaille le cantonnier.

PONTS.

884. *Diverses espèces de ponts.* On appelle pont un ouvrage d'art destiné à réunir les deux portions d'une voie de communication interrompue par un cours d'eau, un ravin, ou même par une autre voie située à un niveau inférieur à celui de la première.

Lorsqu'un pont n'est supporté que par deux points d'appui espacés de 4 à 5 mètres au plus, il prend le nom de *ponceau.*

Un pont destiné à faire passer une voie au-dessus d'une autre, ou même d'un vallon dans lequel on ne veut pas la faire descendre, prend le nom de *viaduc.* Cependant ce nom est plus particulièrement réservé aux grands travaux composés d'arches nombreuses et élevées, à l'aide desquels les chemins de fer franchissent les vallées profondes.

Les *ponts-aqueducs* sont ceux qui font passer un cours d'eau au-dessus d'un chemin ou d'une rivière.

Les *ponts-canaux* sont ceux qui supportent un canal de navigation.

Les ponts se divisent encore en *ponts fixes*, ce sont ceux construits à demeure et offrant un passage continu ; en *ponts mobiles*, comprenant ceux qui, en restant dans un point déterminé, permettent d'interrompre momentanément le passage ; en *ponts volants* ou ponts que l'on peut déplacer à volonté.

Les ponts se construisent en pierre, en bois ou en métal.

Les points d'appui extrêmes d'un pont sont appelées *culées ;* ceux intermédiaires prennent le nom de *piles* quand ils sont en pierre, et de *palées* quand ils sont en bois. Ce qui sépare deux points d'appui prend le nom de *travée* si l'on y a fait usage du bois, et celui d'*arche* si l'on a employé la pierre. Les petites arches prennent le nom d'*arceaux.*

PONCEAUX.

685. *Ponceaux.* On les construit ordinairement sur des ru... dont le volume d'eau est très-variable suivant les saisons, ... quefois même sur des ravins à sec une partie de l'année.

Lorsqu'on a un ponceau à construire, la première chose à dé... miner est le *débouché*, c'est-à-dire la distance entre les cul...

Ce débouché doit être suffisant pour débiter les plus gr... lumes d'eau qui peuvent se présenter ; s'il était trop étroit, le pon... ceau serait emporté, ou l'eau s'élèverait du côté d'amont, ... drait sur les terrains environnants, et pourrait couper la ... passant par-dessus.

Quand il existe déjà des ponceaux en amont ou en aval de ... construire, leurs débouchés servent de terme de comparaison, ... ayant égard à la quantité d'eau qui afflue en plus ou en moins ... ce dernier, on peut fixer approximativement son débouché.

S'il n'y a encore aucun ponceau existant, il faut déterminer le vo... lume de l'eau affluente. Pour cela, si le ravin a une section et une pente à peu près uniformes sur une certaine longueur, et si ... connaît le niveau des plus hautes eaux, à l'aide de la formule d'Ey... telwein ou de celle de M. de Saint-Venant (171), on détermine la vi... tesse moyenne v en mètres par seconde, et cette vitesse multipliée par la section des eaux donne le volume d'eau affluent par seconde. Ayant ce volume, on fixe le débouché de manière que la vitesse de l'eau sous le pont ne soit pas assez grande pour attaquer le fond (172 et 173).

Quand le niveau des grandes eaux ne sera pas connu, et que la pente et la section du ravin ne seront pas assez régulières pour ap... pliquer les formules du n° 171, on déterminera le débouché par la méthode empirique suivante, qui paraît avoir été sanctionnée par l'expérience pour des pays où le sol est peu perméable.

Dans les pays plats, comme la Hollande, la largeur du débouché se règle à raison de $0^m,45$ à $0^m,50$ pour chaque 1 000 hectares du ter... rain dont les eaux affluent sous le ponceau. Si le sol est en pente, et que les plus grandes hauteurs qui environnent le bassin s'élèvent à environ 50 mètres au-dessus du talweg, la largeur du débouché se prend à raison de $1^m,25$ par 1 000 hectares ; il faut encore augmenter ce débouché si le bassin est resserré entre des montagnes très-élevées et très-inclinées, parce que les eaux pluviales arrivent plus vite et en plus grande abondance sous le ponceau.

Si ces moyens de déterminer le débouché paraissaient incertains, on se rendrait compte de la plus grande quantité d'eau qui peut affluer sous le pont en une seconde, en supposant que les plus grandes

ont assez prolongés pour que le volume d'eau qui passe sous en une seconde soit égal à celui qui tombe dans toute l'éten- ›assin dans le même temps, et que, d'après les observations exactes, le maximum d'eau tombé en une seconde est de ›02 par mètre carré. (Des observations faites par M. Mary, en ıi ont donné 0^{mc},000 006 6 par seconde, pendant une pluie ıte, qui n'était cependant pas un orage.)

bservations faites pendant un grand nombre d'années ayant que des pluies de cette abondance ne durent jamais plus de es, il en résulte que, pour appliquer cette méthode, il faut que ıe du bassin soit assez faible, et sa pente assez grande, pour 7 heures la première eau tombée dans les points les plus s du bassin ait eu le temps d'arriver au ponceau.

un très-petit bassin, il peut arriver que le ponceau ait à dé- ar seconde la quantité d'eau fournie par un orage ou une d'eau sur le bassin dans ce même temps, diminuée du vo- bsorbé par le sol.

registres de l'observatoire de Paris indiquent que l'orage le plus ınt, parmi ceux observés, a fourni par mètre carré 0^{mc},01898 en nutes, ce qui fait par seconde 0^{mc},000 010 5. Ces pluies abon- ; ne durent pas beaucoup plus que celle-là.

cas où il afflue à la fois le plus grand volume d'eau sous le pon- se présentent quand le sol étant gelé et couvert de neige il sur- une pluie chaude, et quand le sol est peu perméable, soit par ure, soit par des pavages, soit par des parties couvertes d'édi- et qu'il survient une pluie abondante.

un sol naturel, il peut y avoir imbibition plus ou moins consi- le suivant la formation géologique du terrain supérieur. Sur e plastique, l'argile du gault, les argiles et les marnes argileuses rain jurassique, les granits et autres roches non fendillées, l'ab- on est à peu près de 0,43 pour 1. Dans les terrains crayeux ou es roches également fendillées, la pluie est presque entièrement bée. Lorsque le sol est recouvert de terre végétale sur une très- épaisseur, on admet, d'après d'assez nombreuses expériences, eau qui coule à la surface est les 3/7 de l'eau de pluie.

e fois que l'on a déterminé approximativement le volume des on se rend compte de la hauteur à laquelle elles s'élèveront dans in à l'aide de la formule d'Eytelwein ou de celle de M. de Saint- nt; la première est (171)

$$\frac{S}{P} I = 0,000\,024 \frac{Q}{S} + 0,000\,365 \frac{Q^2}{S^2}.$$

y a dans cette équation deux inconnues, la section S et le péri- e P, desquelles dépend la profondeur de l'eau.

Si la section S était un rectangle, on pourrait remplacer S et P en fonction de la profondeur, qui resterait seule comme inconnue dans l'équation précédente, et serait facilement déterminée.

Si la section S était un trapèze, on pourrait encore suivre une même marche; mais les valeurs de S et P en fonction de la profondeur seraient déjà compliquées, et ces valeurs substituées dans la formule précédente la rendraient difficile à résoudre. Il vaut mieux, dans ce dernier cas, suivre la marche adoptée pour une forme quelconque de section. Cette marche consiste à rapporter sur une feuille de papier le profil en travers du ravin, à assigner à la profondeur de l'eau une valeur que l'on préjuge convenable, à calculer la valeur de S qui correspond à cette profondeur, ce qui se fait en la décomposant en trapèzes et en triangles par des lignes verticales; on évalue également P, et les valeurs de S et P substituées dans l'équation précédente donnent pour Q la valeur que l'on a déterminée, si la valeur assignée à la profondeur est convenable; cela n'étant pas, on essaye une seconde profondeur, puis une troisième, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on arrive à une valeur satisfaisante.

Ayant la profondeur de l'eau dans le ravin et le volume d'eau à débiter, on prend le débouché tel que sa largeur multipliée par la profondeur d'eau trouvée donne une section capable de débiter le volume Q, sans que la vitesse soit trop considérable.

Les ponceaux se font ordinairement en maçonnerie et quelquefois en bois. Dans ce dernier cas, les culées peuvent se faire avec des pieux; mais le bois qui les forme étant à l'air d'un côté et en contact avec la terre de l'autre, il se trouve dans un état de sécheresse et d'humidité variable qui le fait pourrir promptement.

Les voûtes des ponceaux se font en arc de cercle quand l'élévation des eaux ne permet pas de les construire en plein cintre.

Il arrive quelquefois que l'ouverture que l'on est obligé de donner à un ponceau est assez faible pour que l'eau y prenne une vitesse suffisante pour affouiller le sol. On évite cet affouillement en recouvrant le sol avec un *radier* en maçonnerie, que l'on prolonge, si cela est nécessaire, dans toute l'étendue du rétrécissement occasionné par le ponceau.

PONTS EN PIERRE.

686. *Ponts en pierre.* Les ponts en charpente nécessitant des réparations coûteuses et de nature à intercepter trop souvent le passage, pour une voie très-fréquentée, sur laquelle les communications sont importantes, on a recours à la pierre, et quelquefois à la fonte ou au fer.

ans l'étude d'un projet de pont, on a à considérer : 1° l'emplace-
it du pont ; 2° son débouché ; 3° la grandeur de ses arches ; 4° leur
ne ; 5° les dimensions de leurs différentes parties ; 6° le mode de
struction.

87. *Emplacement d'un pont.* Il est ordinairement déterminé par
osition des deux voies que le pont doit mettre en communication.
endant il peut arriver que le pont étant placé dans la direction
ne voie, il soit oblique par rapport à l'autre, ou que le niveau
quel se trouve les voies exigerait de fortes rampes pour arriver au
eau auquel on est obligé d'élever le pont, ce qui enterrerait les
isons. Il peut arriver aussi que le sol où on aurait à construire
iduirait à des dépenses considérables, ou encore que la direction
piles y serait oblique par rapport à celle du courant, ce qu'il faut
ter autant que possible, surtout pour un grand pont, parce qu'un
nt biais, outre qu'il est plus difficile à appareiller, est aussi plus
jet aux affouillements. Dans ces divers cas, on doit rechercher si
ns le voisinage il n'y aurait pas un point plus favorable sous le rap-
rt de la commodité, de la solidité et de l'économie.

La largeur d'un pont dépend du nombre des personnes et des voi-
res qui circulent ou peuvent circuler dans les rues ou sur les routes
'il doit réunir. Dans une ville, la largeur doit en général être au
oins égale à celle des rues qui y aboutissent. A la campagne,
tte largeur doit ordinairement permettre, surtout si le pont est un
u grand, à deux voitures de se croiser ; cela oblige de la porter à
mètres ; on lui donne ordinairement 7 à 8 mètres si le pont est long,
on fait un trottoir de chaque côté pour les piétons.

688. *Débouché.* Sur une rivière considérable, la détermination du
bouché est de la plus haute importance. Dans un ponceau, un ra-
er permet de rétrécir le débouché au point d'obtenir une vitesse
ui entraînerait le sol naturel (685) ; mais dans un grand pont, sauf
s cas exceptionnels, il faut renoncer au radier, et calculer le dé-
ouché tel qu'il puisse débiter les eaux sans que leur vitesse atteigne
limite à laquelle elles attaqueraient le fond (172), produiraient des
fouillements, déracineraient les points d'appui et amèneraient la
uute du pont.

Il faut aussi éviter que le débouché du pont soit trop grand, parce
u'il pourrait se former des atterrissements en quelques points de sa
ngueur, lesquels, en se consolidant par les herbages qui y pous-
eraient, pourraient faire prendre au courant une direction oblique,
t une grande crue survenant, le pont pourrait être détruit par suite
e l'affouillement de quelques piles ; c'est ce qui est arrivé à Roanne
t à Nevers. Cependant, le cas de destruction par suite d'un débouché
op grand étant beaucoup plus rare que celui provenant d'un dé-

bouché trop faible, il y a moins de danger de pécher dans le premier sens que dans le second.

Pour arriver à fixer convenablement le débouché, il faut jauger le cours d'eau avec soin, d'après ce qui a été dit nᵒˢ 171, 172 et 173, pendant les basses, les grandes et les moyennes eaux, en déterminant directement la vitesse au moyen de flotteurs, quand la saison et le temps le permettent, ou au moyen des formules dans le cas contraire (685). Du jaugeage pendant les basses eaux, on conclut un débouché qui ne permet pas les atterrissements, de celui fait pour les grandes crues on s'assure que le débouché peut débiter toutes les eaux sans que la vitesse soit trop grande, et le jaugeage pendant les eaux moyennes donne la direction du régime ordinaire des eaux.

Ayant dans chacun de ces cas le niveau des eaux pour chaque débouché ou espace libre entre les piles et culées, on a la section des eaux, et le volume divisé par cette section donne la vitesse moyenne qui ne doit pas permettre les atterrissements, ni pouvoir corroder le sol.

Il est évident que si la rivière débordait au point où l'on doit construire, son jaugeage ne pourrait s'effectuer en cet endroit pendant les grandes eaux ; on le ferait alors en un point situé à une certaine distance en amont ou en aval, où la rivière serait parfaitement encaissée.

Lorsque les eaux s'élèvent au-dessus du niveau des naissances des voûtes, il faut avoir égard à ce que le débouché ne croît plus en raison de la hauteur des ouvertures, et pour cela augmenter en conséquence l'écartement des appuis. On augmente aussi cette distance pour avoir égard à la contraction de l'eau dans les ouvertures du pont (689).

689. *Remou.* Par suite du rétrécissement de la rivière, causé par les piles, le niveau de l'eau s'élève d'une certaine quantité en amont du pont. Il est important de déterminer cet exhaussement, appelé *remou*, afin de s'assurer qu'il ne causera pas de dommages aux propriétés riveraines.

Appelons :

- L la largeur de la rivière en avant du pont ;
- l la largeur totale des piles ;
- x le remou ;
- h la profondeur moyenne de la rivière en amont du remou ; la profondeur est sensiblement la même entre les piles du pont ;
- $h+x$ la profondeur de l'eau au devant des piles ;
- k le coefficient de contraction qui résulte du passage de l'eau entre les piles ; Eytelwein fait $k=0,85$ pour les avant-becs coupés carrément, et $k=0,95$ pour ceux terminés en angle aigu ; on fait $k=0,90$ pour la forme usitée aujourd'hui (139) ;
- v la vitesse en amont du remou ;

vitesse de l'eau au point du grand exhaussement du niveau de l'eau;
vitesse de l'eau entre les piles, ou mieux au point de plus grande contraction;
débit de la rivière par seconde.

débit Q étant le même au point où il n'y a ni remou ni rétrécis-
it qu'aux points où ces effets se produisent, on a à la fois

$$Q = Lhv = L(h+x)v' = (L-l)hv''k.$$

deux premières valeurs de Q on conclut

$$v' = \frac{Lhv}{L(h+x)} = \frac{hv}{h+x},$$

la première et de la troisième on tire

$$v'' = \frac{Lv}{(L-l)k}.$$

remou doit être égal à la différence des hauteurs génératrices
vitesses v' et v''; on a donc

$$x = \frac{v''^2 - v'^2}{2g}. \quad (133)$$

emplaçant dans cette équation v' et v'' par leurs valeurs précé-
tes, on a

$$x = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{L^2}{(L-l)^2k^2} - \frac{h^2}{(h+x)^2}\right).$$

ation du troisième degré qui ne contient que la seule incon-
x, et qu'il convient de résoudre par tâtonnement; ainsi, on assi-
ra à x, dans le second membre de l'équation, une valeur que l'on
jugera convenable; l'équation, qui sera alors du premier degré,
nera pour x une seconde valeur plus exacte que celle supposée;
e deuxième valeur, substituée dans le second membre de l'équa-
, en fournira une troisième que l'on pourra considérer comme
sfaisant exactement à l'équation, et qu'en pratique on pourra
pter comme étant la hauteur du remou.
i l'on a, comme dans une expérience faite sur le Veser, et rappor-
par M. D'Aubuisson, $L = 180^m,71$, $l = 84^m,58$, $h = 5^m,37$ et $v =$
494; supposant $k = 0,90$, et faisant $x = 0^m,25$, par exemple, dans
second membre de l'équation précédente, on a

$$x = \frac{1,494^2}{19,62}\left(\frac{180,71^2}{(180,71-84,58)^2 \times 0,9^2} - \frac{5,37^2}{(5,37+0,25)^2}\right) = 0^m,393.$$

Cette valeur substituée dans le second membre de l'équation don-
rait $x = 0^m,398$, valeur que l'on peut considérer comme satisfaisant
actement à l'équation, et qui ne diffère pas sensiblement de celle
,382 qu'a donnée l'expérience. (On pourra consulter avec fruit,
ur cette question de remou, le travail de M. Belanger : *Essai sur*

la solution numérique de quelques problèmes relatifs au mouvement des eaux courantes, et l'ouvrage de M. Dupuit : *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes.*

690. *Grandeur des arches.* Sur une rivière qui n'est ni navigable ni exposée à des crues ou à des débâcles, on adopte de petites arches, qui, à longueur égale de pont, sont moins coûteuses que les grandes, quand toutefois la nature du sol ne conduit pas à de plus fortes dépenses par suite du plus grand nombre de piles à fonder.

Quand la rivière, sans être navigable, est sujette à des crues et à des débâcles, on doit adopter des arches assez grandes pour que les glaces ou tout autre corps flottant ne soient pas arrêtés par les piles; il en résulterait des amas de glaces, appelés embâcles, qui sont une des causes les plus fréquentes de la destruction des ponts. Il ne faut pas en général adopter des arches moindres que celles du premier pont placé en amont.

Sur une rivière navigable, il faut proportionner les arches aux dimensions des bateaux, et surtout à la vitesse du courant. Si cette vitesse est grande, le débouché ayant moins de 25 mètres, on ne fait qu'une seule arche. Pour un plus grand débouché, afin d'éviter les dépenses considérables occasionnées par les grandes arches, on en fait de plus petites. Le nombre des arches doit être de trois au moins, sauf à faire l'arche du milieu plus grande que les autres, si elle était insuffisante pour la navigation.

Quand la rivière navigable a une faible pente, la largeur des arches peut être moindre, et on peut même adopter un nombre pair d'arches, c'est-à-dire placer une pile au milieu, si cette disposition offre des avantages d'exécution compensant ses inconvénients.

691. *Forme des arches.* La surface intérieure des voûtes est engendrée par une droite qui se meut en restant horizontale et en s'appuyant sur une demi-circonférence dont le diamètre est égal à l'ouverture de l'arche, ce qui donne une voûte en *plein cintre*; ou sur une demi-ellipse ou une courbe à plusieurs centres, dont les extrémités sont, comme dans le cas précédent, tangentes aux pieds-droits, ce qui fournit une voûte en *anse de panier;* ou encore sur un seul arc de cercle rencontrant les pieds-droits suivant un certain angle, et on a alors une voûte en *arc de cercle.*

Les voûtes en plein cintre étant les plus faciles à appareiller et les plus solides, on les construit toutes les fois qu'elles laissent un passage suffisant à l'eau et aux bateaux jusqu'au moment où la rivière cesse d'être navigable, sans porter le pont à une hauteur que ne permettent pas ses abords. Quand ces conditions ne peuvent être convenablement remplies par les voûtes en plein cintre, on fait usage de voûtes en anse de panier, et si celles-ci ne laissent pas encore un débouché convenable on a recours aux voûtes en arc de cercle.

ırface intérieure d'une voûte se désigne sous le nom de *douelle* :*trados* et celle extérieure sous celui d'*extrados*. Les *nais-* d'une voûte sont les points où elle se raccorde avec les pieds- La *montée* ou la *flèche* est la hauteur verticale de la clef au- des naissances. Dans les voûtes en arc de cercle, il faut tenir ssances au-dessus du niveau auquel atteignent les débâcles, u'elles ne soient pas dégradées par les glaces et qu'elles ne ré- ent pas le débouché. Il est difficile de satisfaire complétement condition dans les voûtes en plein cintre et en anse de panier; ıte, pour une certaine élevation de niveau, au-dessus des nais- , le débouché est moins rétréci par ces voûtes que par celles de cercle. Pour remédier jusqu'à un certain point à l'effet de écissement, on a imaginé aux ponts de Neuilly, Bordeaux, etc., er la voûte sur les plans de tête, de manière à surhausser les ınces dans ces plans jusqu'au niveau des plus hautes eaux, tout ssant la clef à la même hauteur que dans la partie cylindrique voûte. Dans son mouvement, la génératrice de chacune de ces :s évasées passe successivement dans tous les plans normaux à rtie cylindrique de la voûte.

2. *Tracé des arches*. Les tracés des voûtes en plein cintre et en e cercle n'offrent aucune difficulté. Dans ces dernières, désignant n la montée, par l la demi-distance des pieds-droits, par r le n de l'arc d'intrados, et par α l'amplitude du demi-arc d'intrados, -à-dire l'angle que font les joints des naissances avec la ver- e, on a

$$r = \frac{l^2 + m^2}{2m}, \quad \text{et} \quad \sin\alpha = \frac{l}{r}.$$

: rapport $\frac{m}{2l}$ de la montée à l'*ouverture* est appelé le *surbaissement* ı voûte, et l'on dit qu'une voûte est *surbaissée* au 1/3 au 1/4, etc., n que ce rapport est 1/3, 1/4, etc.

ne faut prendre, dans aucun cas, la montée moindre que 1/8 de verture. Cependant le *pont aux Doubles* et le *petit Pont*, à Paris, ılis en meulière hourdée avec du ciment de Vassy, sont surbais- au 1/10.

rdinairement, dans la pratique, quand le surbaissement est in- eur à 1/4, on a recours à un arc de cercle unique, et selon que le baissement varie de 1/2 à 1/3 ou de 1/3 à 1/4, les anses de panier ıt à 3 ou à 5 centres pour des ouvertures de 1 à 10 mètres, à 5 ou pour celles de 10 à 40 mètres, et à 7 ou 9 pour celles de 40 à 50 tres.

Le tracé de l'anse de panier, dont la forme se rapproche de celle l'ellipse (*Int.*, 1041), est un peu plus difficultueux que les précé-

dents. Les arcs en nombre impair dont il se compose doivent ac-corder tangentiellement à leurs extrémités, afin d'éviter les jarrets, et de plus être décrits avec des rayons convenablement proportionnés, afin que leur ensemble forme une courbe bien continue ne paraissant pas s'infléchir aux points de contact des arcs. Pour que ces conditions soient le plus convenablement remplies, les centres de deux arcs successifs doivent se trouver sur le même rayon passant par le point de contact des deux arcs, et les rayons aboutissant à ces points de contact doivent faire des angles égaux entre eux, et égaux au quotient de deux angles droits ou de 180° par le nombre des arcs qui composent la courbe; ainsi, lorsque l'anse de panier est à 3, 5, 7, etc., centres, les divers rayons font respectivement entre eux des angles de 60°, 36°, 25°,714, et de plus les rayons doivent, d'après la méthode de M. Michal, inspecteur général des ponts et chaussées, être égaux au rayon de courbure de l'ellipse qui a les mêmes axes que l'anse de panier.

C'est d'après ces hypothèses que M. Michal a calculé le tableau suivant, qui donne pour diverses montées les valeurs des rayons nécessaires pour effectuer le tracé; ces valeurs sont données en prenant l'ouverture pour unité.

ANSES A 5 CENTRES.		ANSES A 7 CENTRES.			ANSES A 9 CENTRES.			
Montée.	1er rayon.	Montée.	1er rayon.	2e rayon.	Montée.	1er rayon.	2e rayon.	3e rayon.
0.36	0.278	0.33	0.228	0.315	0.25	0.130	0.171	0.295
0.35	0.265	0.32	0.216	0.302	0.24	0.120	0.159	[illegible]
0.34	0.252	0.31	0.203	0.289	0.23	0.111	0.148	[illegible]
0.33	0.239	0.30	0.192	0.276	0.22	0.102	0.138	[illegible]
0.32	0.225	0.29	0.180	0.263	0.21	0.093	0.126	[illegible]
0.31	0.212	0.28	0.168	0.249	0.20	0.083	0.114	[illegible]
0.30	0.198	0.27	0.156	0.236				
		0.26	0.145	0.223				
		0.25	0.133	0.210				

Soient, fig. 25, pl. III, *aa'* l'ouverture, et *cd* la montée. Quand *aa'* est moindre que 3*cd*, on emploie l'anse de panier à 3 centres. Pour la tracer, sur *aa'* comme diamètre on décrit une demi-circonférence, que l'on divise en trois parties égales par les rayons *ce* et *ce'*; on mène les cordes *ae*, *ef*, *fe'* et *e'a'*; par le point *d* on conduit *dh* parallèle à *ef* et *dh'* parallèle à *fe'*; et les lignes *hi* et *h'i*, menées respectivement parallèles à *ce* et *ce'*, déterminent les 3 centres *k*, *i* et *k'*, et par suite les rayons *ak* = *a'k'* et *hi* de l'anse de panier *ahh'a'*. D'abord les centres de deux arcs consécutifs sont bien placés sur le même rayon abou-

t au point de raccordement des arcs. De plus, deux rayons con-fs font entre eux un angle de $\frac{180}{3} = 60°$; car on a,

$$akh = ace,\ hih' = ece' \text{ et } h'k'a' = e'ca'.$$

ır tracer une anse de panier à 5 centres, on suit la même marche. après avoir, fig. 26, pl. III, mené les rayons *cd*, *ce*, *ce'* et *cd'*, di-t la circonférence *aba'* en 5 parties égales, et les cordes *ad*, *de*, c., on prend le premier rayon *af* égal à la valeur consignée au ıu précédent, et on mène *gh* parallèle à *cd*. Conduisant ensuite rallèle à *de* et *li* parallèle à *be*, puis *ik* parallèle à *ce*, on obtient ıxième centre *g* et le troisième *k*. Le tracé est le même de l'autre le *cl*; mais on peut pour ce côté commencer par le rayon *ki'*, le *k* étant connu.

ur une anse de panier à 7 centres, on opérerait d'une manière lable. Ainsi on prendrait *af* égal au premier rayon du tableau, ènerait *hg* parallèle au premier rayon diviseur *cd*; on prendrait ite *hg* égal au deuxième rayon consigné au tableau, on mènerait *g* une parallèle au deuxième rayon diviseur, et les troisième et rième centres se détermineraient de la même manière que les ıième et troisième *g* et *k* dans le cas précédent. On opérerait ıe manière tout à fait semblable pour une anse de panier à 9 cen-, et en général pour un nombre impair quelconque de centres.

. Lerouge, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a, pour er les anses de panier, toujours supposé que les divers rayons ant par les points de raccordement feraient des angles égaux e eux, mais que les rayons croîtraient suivant une progression hmétique. C'est d'après cette hypothèse qu'il a calculé les résul- du tableau suivant, qui supposent l'ouverture prise pour unité. ableau contient en outre la hauteur réduite du débouché enve-pé par la courbe, l'ouverture étant également prise pour unité.

ANSES A 3 CENTRES.				ANSES A 5 CENTRES.				ANSES A 7 CENTRES.				ANSES A 9 CENTRES.			
Montée.	Premier rayon.	Différ. des rayons successifs.	Hauteur réduite.	Montée.	Premier rayon.	Différ. des rayons successifs.	Hauteur réduite.	Montée.	Premier rayon.	Différ. des rayons successifs.	Hauteur réduite.	Montée.	Premier rayon.	Différ. des rayons successifs.	Hauteur réduite.
0.380	0.336	0.327	0.303	0.350	0.245	0.228	0.274	0.330	0.183	0.181	0.256	0.320	0.148	0.148	0.246
0.390	0.350	0.301	0.310	0.360	0.262	0.213	0.282	0.340	0.202	0.171	0.264	0.330	0.167	0.140	0.255
0.400	0.363	0.273	0.318	0.370	0.279	0.198	0.290	0.350	0.221	0.160	0.272	0.340	0.187	0.132	0.263
0.410	0.377	0.246	0.326	0.380	0.296	0.183	0.298	0.360	0.239	0.149	0.281	0.350	0.206	0.123	0.272
0.420	0.391	0.219	0.334	0.390	0.313	0.167	0.306	0.370	0.258	0.139	0.289	0.360	0.226	0.115	0.280
0.430	0.404	0.191	0.341	0.400	0.330	0.152	0.315	0.380	0.276	0.128	0.297	0.370	0.245	0.107	0.288
0.440	0.418	0.164	0.349	0.410	0.347	0.137	0.323	0.390	0.295	0.117	0.305	0.380	0.265	0.099	0.297
0.450	0.432	0.137	0.356	0.420	0.364	0.122	0.330	0.400	0.314	0.107	0.313	0.390	0.285	0.091	0.305
0.460	0.445	0.109	0.364	0.430	0.381	0.107	0.338	0.410	0.332	0.096	0.322	0.400	0.304	0.082	0.313
0.470	0.459	0.082	0.371	0.440	0.398	0.091	0.346	0.420	0.351	0.085	0.330	0.410	0.324	0.074	0.321
0.480	0.473	0.055	0.378	0.450	0.416	0.077	0.354	0.430	0.370	0.075	0.338	0.420	0.343	0.066	0.330
0.490	0.486	0.027	0.386	0.460	0.432	0.061	0.362	0.440	0.388	0.064	0.346	0.430	0.363	0.058	0.337
0.500	0.500	0.000	0.393	0.470	0.449	0.046	0.370	0.450	0.407	0.053	0.354	0.440	0.383	0.049	0.345
				0.480	0.466	0.030	0.377	0.460	0.425	0.043	0.361	0.450	0.402	0.041	0.353
				0.490	0.483	0.015	0.385	0.470	0.444	0.032	0.369	0.460	0.422	0.033	0.361
				0.500	0.500	0.000	0.393	0.480	0.463	0.021	0.377	0.470	0.441	0.025	0.369
								0.490	0.481	0.011	0.385	0.480	0.461	0.016	0.377
								0.500	0.500	0.000	0.393	0.490	0.480	0.008	0.385
												0.500	0.500	0.000	[illegible]

›utant la différence des rayons successifs au premier rayon, on leuxième; cette différence ajoutée au deuxième rayon donne le ième, et ainsi de suite. A l'aide de ces divers rayons on fera le comme il a été indiqué plus haut.

. pont de Neuilly, on a employé une anse de panier à 11 centres, l'on a tracée comme l'indique la figure 27, pl. III.

prend un point k, que l'on croit devoir être le premier centre, divise fk de manière que $kj = \frac{ji}{2} = \frac{ih}{3} = \frac{hg}{4} = \frac{gf}{5}$. Cela fait, on d $fa = 3fk$; on divise fa en 5 parties égales, aux points e, d, c, b; ›int ek, dj, ci, bh et ag, et si le point k a été bien choisi, la courbe ıt pour centres successifs les points k, r, o, m, n, a passera par le met q de la montée. On conçoit que ce n'est que par tâtonnet que l'on arrivera à la position convenable du point k. Suppo- que l'on a fait une première hypothèse, et que le point k choisi onvienne pas; on aura la valeur convenable x, de fk, à l'aide de ›rmule

$$x = \frac{m(a-b)}{4m-s}.$$

l demi ouverture;
q montée;
valeur qu'on a prise pour fk dans la première hypothèse;
développement de la ligne brisée *anmork* qu'a donnée la première hypothèse.

'ans plusieurs ponts nouvellement construits on a adopté l'ellipse ır directrice de l'intrados et de l'extrados (705 et suivants).

93. *Formes des piles. Fondations.* Ce qui a été exposé au n° 619 ıprend comme cas particulier la fondation des ponts.

.a coupe horizontale des piles proprement dites est un rectangle; is on les termine en amont et en aval par un massif de maçonnefaisant saillie sur les têtes du pont; le massif d'amont s'appelle ınt-bec, et celui d'aval *arrière-bec.* Ces becs s'élèvent jusqu'ausus des plus hautes eaux, afin qu'ils préservent complétement le ssif de la pile du choc des corps flottants; ainsi, dans les ponts en in cintre et en anse de panier, ils peuvent s'élever au-dessus des ssances; dans les ponts en arc de cercle on les termine aux naisıces, les eaux ne s'élevant pas plus haut. On les surmonte de demiıes qui les raccordent avec les *tympans* du pont.

.e fruit des piles ne doit pas être supérieur à 1/20 ou 1/15.

.es becs ne sont pas seulement destinés à préserver les massifs s piles du choc des corps flottants; mais aussi à faciliter, par leur me, le passage de l'eau, de manière à diminuer la contraction et tourbillonnements de l'eau et par suite les affouillements (689). Il évident que les formes qui doivent le mieux satisfaire à ces conions sont celles qu'il convient de donner aux proues et poupes ver-

ticales, pour faciliter le mouvement des bateaux (413). Par des expériences directes sur des piles de $0^m,15$ d'épaisseur et de diverses formes, le canal ayant $0^m,50$ de largeur, l'eau y circulant sur une épaisseur de $0^m,04$, avec une vitesse de $3^m,90$ par seconde, Gauthey a reconnu que la forme rectangulaire était la plus défavorable, que la forme d'un triangle rectangle favorisait peut-être encore plus les affouillements, que celle en demi-cercle était un peu plus préférable, que le triangle équilatéral l'était davantage, et qu'une forme plus convenable encore que cette dernière, était celle composée de deux arcs de cercle tangents aux faces de la pile et ayant leurs centres respectivement sur ces faces.

Dans des expériences sur l'avant-bec formé de deux arcs de cercle on a fait descendre les naissances au-dessous du niveau de l'eau, alors le remou a été considérable, et les courants ont divergé à peu près autant que dans les expériences faites avec les avant-becs rectangulaires.

Ces expériences conduisent à adopter la forme triangulaire équilatérale, ou mieux la forme en arcs de cercle ; mais les angles aigus qu'elles présentent aux chocs des glaces et des autres corps flottants sont promptement endommagés; aussi donne-t-on en général la préférence aux avants-bec demi-circulaires.

Une forme elliptique concilierait en partie les avantages de la forme circulaire et de celle en arcs de cercle.

Fig. 92.

Pour un pont biais, on emploie deux arcs de cercle, AC et BC, tangents aux faces de la pile et, en un même point C, à une droite ab parallèle à la tête AB du pont. Menant ab parallèle à AB à une distance égale à la moitié de l'épaisseur BD de la pile, et élevant au point C, milieu de ab, une perpendiculaire, elle détermine sur les perpendiculaires AO et BO' aux faces de la pile, les centres O et O' des arcs AC et BC.

694. *Appareil des voûtes.* Les voussoirs sont en nombre impair, et celui qui forme clef doit se trouver au milieu; leurs plans de joints sont normaux à la surface cylindrique de la voûte, et on ne les raccordait avec la maçonnerie qui les surmonte que par des faces horizontales et verticales ; mais dans les ponts que l'on construit aujourd'hui, la courbe d'extrados est le plus généralement continue comme celle d'intrados. Les dimensions des voussoirs dépendent de celles des pierres que l'on a à sa disposition; cependant il ne faut pas que leur longueur soit trop grande par rapport à leur épaisseur, parce qu'ils se rompraient; il faudrait dans ce cas les composer de plusieurs morceaux. Au pont de Neuilly, les voussoirs, qui sont les plus

ue l'on ait employés, ont $1^m,80$ de longueur sur $0^m,46$ d'épais-
a douelle (618).

Dimensions des voûtes. Joints de rupture. Lorsque les dimen-
une voûte et de ses culées sont réduites au point de ne pou-
soutenir, on remarque, au moment où l'équilibre va se
, qu'en général la voûte s'ouvre, comme l'indique la fig. 28,
à l'intrados à la clef, à l'extrados en des points placés dans
s de la voûte, et que les pieds-droits tournent autour de l'a-
térieure de leur base.

quefois, à la rupture, on remarque que la voûte se fend à la
lans les reins, mais sans s'ouvrir, et que les pieds-droits glis-
r leur base.

encore un troisième cas possible, c'est celui où le voussoir
ur, c'est-à-dire l'ensemble du pied-droit et de la partie de voûte
ure au rein, exerce, pour tomber en avant, un effort plus grand
lui produit par le voussoir supérieur pour le faire tourner en
ntraire. Alors la voûte s'ouvre comme dans le premier cas,
l'extrados à la clef, à l'intrados aux reins, et les pieds-droits
nt autour de l'arête intérieure de leur base (fig. 29, pl. III).

voûte peut être considérée comme composée de 4 voussoirs
s par les joints où la rupture est possible, et qui doivent mu-
ment se maintenir en équilibre.

xaminons d'abord le *premier cas*, celui où il y a affaissement de
te et renversement des pieds-droits, fig. 28, pl. III. Au moment
quilibre se rompt, on peut supposer théoriquement que les
oirs ne reposent plus entre eux et sur le sol que par des arêtes
', c et c'; alors ab, bc, ab' et $b'c'$ sont entre eux dans le même
équilibre que des droites rigides ab, bc, ab' et $b'c'$, dont les poids
eux des voussoirs, et dont les centres de gravité sont placés aux
s G', g', etc., situés sur les verticales passant par les centres de
é G, g, etc., des voussoirs. (*Int.* 1435 et suiv.)

convient, pour abréger les calculs relatifs à la poussée des
s, de ne considérer qu'une tranche de voûte de 1 mètre de lon-
r; s'il y a équilibre sur 1 mètre, il est évident que l'équilibre
stera dans toute l'étendue de la voûte.

résentons : ad par x, de par x', ef par y, fc par y', bh par z et ci par z',
oient P le poids du voussoir ab et Q celui du voussoir bc.

poids P, que l'on peut supposer appliqué en G' ou même en h, se
mpose en deux forces verticales, l'une $P\frac{z}{x}$ appliquée en a, et
re $P\frac{x-z}{x}$ appliquée en b. Le poids Q, que l'on peut supposer
iqué en g' ou même en i, se décompose également en deux forces

verticales, l'une $Q\frac{z'}{x'}$, appliquée en b, et l'autre $Q\frac{x'-z'}{x'}$ appliquée en c.
Les voussoirs ab' et $b'c'$ fournissent les mêmes composantes, appliquées respectivement aux points a, b' et c'.

Ainsi au point a agit une force verticale $2P\frac{z}{x}$, laquelle se décompose en deux forces égales, dirigées l'une suivant ab et l'autre suivant ac. Représentant par C chacune de ces composantes, on a

$$C : 2P\frac{z}{x} = ab \text{ ou } \sqrt{x^2+y^2} : 2y, \text{ d'où } C = P\frac{z\sqrt{x^2+y^2}}{xy}$$

La force C, agissant suivant ab, peut être supposée appliquée au point b, où elle se décompose en deux autres :

L'une verticale et égale à $P\frac{z}{x}$;

L'autre horizontale et égale à $P\frac{z\sqrt{y^2+x^2}}{xy}\times\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} = P\frac{z}{y}$.

Considérant alors le voussoir bc, on voit qu'il est sollicité par la force horizontale $P\frac{z}{y}$ appliquée au point b, et par les forces verticales Q, $P\frac{x-z}{x}$ et $P\frac{z}{x}$ appliquées la première au point g et les dernières au point b; par conséquent, pour que ce voussoir ait de la stabilité, on doit avoir

$$Qz' + \left(P\frac{x-z}{x} + P\frac{z}{x}\right)x' - P\frac{z}{y}y' > 0,$$

ou en simplifiant,

$$Qz' + Px' - P\frac{zy'}{y} > 0.$$

Ajoutant $Pz - Pz$ au premier membre de cette inégalité, on a

$$Qz' + P(x'+z) - \left(Pz + P\frac{zy'}{y}\right) > 0.$$

Qz' est le moment du voussoir bc, pris par rapport au point c; $P(x'+z)$ est le moment du voussoir ab, pris par rapport au même point; par conséquent la somme de ces deux expressions est égale au moment total MA de la demi-voûte, pris par rapport au point c (*Int.*, 1407 et suivants.)

M=Q+P poids de la demi-voûte;
A distance horizontale du centre de gravité de la demi-voûte au point c.

Le dernier terme du premier membre de l'inégalité précédente devient, en réduisant au même dénominateur,

$$Pz\frac{y+y'}{y}=PH\frac{z}{y}.$$

y' hauteur totale de la voûte.

égalité précédente devient donc en définitive

$$MA-PH\frac{z}{y}\text{ ou }H\left(\frac{MA}{H}-P\frac{z}{y}\right)>0.$$

si il y aura rupture quand le terme négatif sera plus grand que ne positif, équilibre quand il lui sera égal, et on obtiendra une ité d'autant plus grande qu'il deviendra plus petit relativement erme positif.

terme $\frac{MA}{H}$ étant constant, et celui $\frac{Pz}{y}$ étant seul variable, il est nt que si une voûte doit se rompre, ce sera au point pour lequel st maximum; ainsi la première chose à faire pour s'assurer ie voûte projetée résistera, c'est de déterminer la position du qui donne $P\frac{z}{y}$ maximum.

convient de remarquer que dans cette recherche on n'a à consir que le voussoir supérieur, et que les joints pour lesquels on doit uler les valeurs correspondantes de P, y et z doivent être choisis ins du joint qu'à l'œil on suppose devoir être celui de rupture. Il ient aussi, pour abréger les calculs, d'observer que les valeurs étant proportionnelles aux surfaces correspondantes de la section a voûte, et que les valeurs de z et de y données par ces surfaces t les mêmes que celles des portions correspondantes de la voûte, eut opérer sur ces surfaces pour déterminer les valeurs succes-s de y et de z, et que la position du joint de rupture sera déterminée la valeur maximum du produit de $\frac{z}{y}$ par la surface correspondante.

i l'on arrivait à une valeur de $P\frac{z}{y}$ trop grande, on augmenterait la ;eur des pieds-droits de manière à faire croître convenablement MA.

e qui vient d'être dit s'applique aux voûtes surbaissées comme à es en plein cintre.

ans tout ce qui précède, nous avons supposé que la voûte n'avait apporter que son propre poids; mais ordinairement elle est sur-ntée d'un massif de maçonnerie formant une surface horizontale -dessus de la voûte et des pieds-droits; de plus encore, ce massif pporte ordinairement une surcharge accidentelle ou permanente. Dans ces divers cas, les poids P, Q et M comprennent non-seu-nent ceux des parties correspondantes de la voûte proprement e, mais aussi ceux des massifs de maçonnerie et les portions de

surcharge qui reposent sur ces parties de la voûte. On a également égard à ces poids additionnels en déterminant les positions des centres de gravité.

Il convient de faire l'épure qui sert à déterminer le joint de rupture à une grande échelle; cela aide à fixer la position des centres de gravité, et à calculer les surfaces et par suite les poids des diverses parties de voûte que l'on a à considérer.

2° *Le deuxième cas de rupture d'une voûte* a lieu lorsque, par l'effet de la force horizontale maximum $P\frac{z}{y}$ du voussoir agissant, la culée ou pied-droit glisse par sa base. Il est évident que ce glissement ne pourra s'effectuer lorsqu'on aura

$$MK > P\frac{z}{y}.$$

K coefficient du frottement de la culée sur sa base; on peut le faire égal à 0,7 (?? et 744).

Les autres lettres ont les mêmes significations qu'au cas précédent.

3° *Le troisième cas de rupture d'une voûte* se présente quand, par la forme de la voûte ou par le mode de répartition de la charge, les pieds-droits tendent à tomber en avant; alors, la voûte s'ouvre à l'intérieur aux reins et à l'extérieur à la clef, comme l'indique la figure 26, planche III. Ce cas peut être considéré comme exceptionnel, et on pourra généralement se dispenser de faire les calculs suivants.

On établit les conditions d'équilibre comme dans le premier cas, en prenant pour axe de rotation des voussoirs les points a, b, c, et pour qu'il y ait stabilité, on trouve que l'on doit avoir

$$H\left(P\frac{z}{y} - \frac{MA}{H}\right) > 0, \text{ c'est-à-dire } P\frac{z}{y} > \frac{MA}{H}.$$

H=ad hauteur de la voûte mesurée à l'intrados;
M poids de la demi-voûte;
A distance horizontale du centre de gravité de la demi-voûte au point de rotation c;
P poids du voussoir agissant ab;
z distance horizontale du centre de gravité du voussoir agissant au point de rotation b;
y distance verticale des points de rotation a et b.

Si l'on n'arrivait pas à $P\frac{z}{y} > \frac{MA}{H}$, on ajouterait un massif de maçonnerie au pied-droit, en dehors de l'arête c. Dans ce troisième cas de rupture de voûte, ainsi que dans le deuxième, on a, comme au premier cas, égard à la maçonnerie et à la surcharge qui peuvent reposer sur la voûte.

696. *Épaisseur des voûtes à la clef.* La méthode exposée dans le

» précédent est une méthode de tâtonnement, puisque l'on
ıne hypothèse sur l'épaisseur de la voûte. Afin de ne pas faire
ıpposition au hasard, on a recours à la formule empirique
.e, que Perronnet a déduite de ses observations,

$$e = 0{,}0347\,d + 0^{m}{,}325.$$

sseur de la voûte à la clef en mètres;
ance des pieds-droits, si la voûte est en plein cintre; dans les voûtes surbais-
ées, d exprime le double du rayon qui a servi à tracer la directrice de l'intra-
os dans les voûtes en arc de cercle, et l'arc supérieur de cette directrice dans
s voûtes en anse de panier.

me, pour des valeurs de d supérieures à 30 mètres, la for-
lonne des épaisseurs trop fortes, il conviendra dans ce cas de
ler, dans sa première hypothèse, sur les constructions exis-
(Art. 274).

ant de l'épaisseur ainsi fixée, on détermine le joint de rupture
e il a été dit n° 695, et par suite la valeur de la poussée hori-
e P $\frac{z}{y}$ de chaque voussoir agissant sur le voussoir résistant. Si
oussée s'exerçait uniformément sur toute la hauteur e du joint
lef, il serait facile de calculer quelle devrait être la valeur de
r y résister; mais remarquons que le voussoir agissant ab,
28, planche III, par sa tendance à tourner autour du point a,
nulle la pression au point intérieur A, tandis qu'elle est maxi-
au point extérieur a. Il est évident que la voûte ne résistera
tant que cette pression maximum au point a ne dépassera pas
ite R que comporte la pierre de la voûte. La pression étant nulle
et R en a, supposant que chaque point de e résiste en raison
se de sa distance au point a, il en résulte que la résistance
nne est $\frac{R}{2}$, et la résistance totale, $\frac{Re}{2}$. Cette résistance totale peut
eprésentée par la surface d'un triangle dont la base est k et la
ur e; son point d'application est situé au centre de gravité du
gle, c'est-à-dire à une distance $\frac{e}{3}$ de la base ou du point a (*Int.*,
, et comme le moment de cette résistance, pris par rapport au
de rotation b, doit être égal au moment du poids du voussoir
ant ab, pris par rapport à ce même point b, on doit donc avoir
1411)

$$\frac{Re}{2}\left(y - \frac{e}{3}\right) = Pz.$$

ns cette formule, les longueurs étant représentées en mètres et
kilogrammes, R exprime le nombre de kilogrammes que peut

supporter avec sécurité chaque mètre carré de la pierre qui com- la voûte (234).

La formule ainsi établie donnera la valeur de e, et si cette va- était différente de celle que l'on a supposée pour déterminer le joint de rupture (695), on déterminerait de nouveau ce joint en adoptant cette seconde valeur de e, et la nouvelle valeur de Pz fournirait pour e une valeur plus approchée (698).

Dans un travail récent (brochure publiée au Mans), M. Léveillé, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a reconnu que la formule de Perronnet était applicable à une voûte de pont d'une forme quelconque, d désignant, dans tous les cas, l'ouverture ou la distance des pieds-droits; seulement, pour rendre les opérations plus faciles, M. Léveillé adopte

$$e = \frac{1 + 0,1d}{3}.$$

Ainsi cette formule, dans laquelle d désigne toujours l'ouverture, est applicable aux voûtes en plein cintre, en anse de panier et en arc de cercle; d'après des comparaisons faites à un grand nombre de ponts, il résulte qu'elle est même applicable aux voûtes qui portent des convois, et aussi à celles chargées d'une grande épaisseur de terre.

697. *Épaisseur des pieds-droits.* Lorsque les pieds-droits font culée, c'est-à-dire doivent résister à la poussée horizontale de la voûte, il peut arriver qu'ils se renversent en tournant autour de leur arête extérieure. Ce cas ne peut avoir lieu qu'autant que l'inégalité a) du n° 695 ne serait pas satisfaite, et alors on augmenterait l'épaisseur du pied-droit et par suite z' de manière à y satisfaire. On opérerait d'une manière analogue pour le cas où le pied-droit pourrait tourner autour de son arête intérieure (3° 695).

Il peut arriver aussi que, par suite d'une trop faible épaisseur, le pied-droit glisse sur sa base. Ce glissement ne peut avoir lieu dès que l'inégalité du 2°, n° 695, est satisfaite.

Il peut arriver également que la voûte glisse sur ses naissances; on vérifiera encore si cet effet est possible à l'aide de l'inégalité du 2°, n° 695, dans laquelle M ne comprendra plus le poids du pied-droit, mais seulement celui de la moitié de voûte qui le surmonte. Ce cas est évidemment celui qui exige la plus grande épaisseur de pied-droit. Cependant, comme l'épaisseur statique calculée pour le renversement est ordinairement plus que suffisante pour résister au glissement, on ne peut s'en tenir à celle calculée d'après le glissement.

Ordinairement on augmente l'épaisseur statique trouvée d'une quantité telle, qu'en y supposant appliquée une pression égale aux 2/3 de la charge totale de la fondation, on n'ait à craindre ni le tassement du sol ni l'écrasement de la pierre. Dans le Mémorial du génie militaire, au lieu d'opérer ainsi pour obtenir de la stabilité, on mul-

épaisseur statique trouvée par un coefficient égal à 1,38 on
n l'a même porté à 1,90, mais cette dernière valeur paraît
e. Dejardin (*Routine de l'établissement des voûtes*) adopte 1,50
valeur de ce *coefficient de stabilité*, ce qui revient à multi-
ır 1,23 l'épaisseur statique du mur.

les anciens ponts, on faisait les arches très-petites et en plein
u en anse de panier, et les piles faisaient culée ; mais dans
es actuelles, que l'on fait grandes et en arc de cercle afin de
· la navigation, le joint de rupture étant aux naissances pour
dont la montée est le 1/6 ou le 1/8 de l'ouverture, il en résulte
poussée est trop considérable pour pouvoir établir des piles
culée ; on se contente de leur donner des dimensions suffi-
pour que les pierres résistent avec sécurité à la charge qu'elles
orter (234), en ayant égard aux effets des glaces et à toutes les
causes de dégradation.

son travail, M. Léveillé a donné les formules suivantes pour
r l'épaisseur des pieds-droits ou culées :

cercle $E=(0,33+0,212d)\sqrt{\frac{h}{H}\times\frac{d}{f+e}}$

cintre $E=(0,60+0,162d)\sqrt{\frac{h+0,25d}{H}\times\frac{0,865d}{0,25d+e}}$

e panier $E=(0,43+0,154d)\sqrt{\frac{h+0,54b}{H}\times\frac{0,84d}{0,465b+e}}$.

isseur des culées ;
erture de la voûte ;
teur des culées, ou distance verticale entre les naissances et le dessus des
ondations ;
isseur de la voûte à la clef ;
he ;
r les voûtes en anse de panier, la formule a été établie dans l'hypothèse que
'intrados est une ellipse ayant $d=2a$ pour grand axe, et $b=f$ pour demi-petit
ıxe (*Int.*, 1049) ;
ance verticale entre le dessus de la chaussée et le dessus des fondations. On a
abituellement $H=h+f+e+0^m,60$, le terme $0^m,60$ représentant la charge et le
avage qui, d'ordinaire, recouvrent la voûte, et dont le poids, après tassement,
eut être considéré comme sensiblement égal à celui de la maçonnerie.
nérateur des fractions ayant H pour dénominateur représente la hauteur du
le joint de rupture rencontre l'intrados au-dessus des fondations. Dans les
à arc de cercle, le joint de rupture étant en général au-dessous des naissances,
pposé aux naissances. Dans les voûtes en plein cintre extradossées horizonta-
le joint de rupture faisant un angle de 60° avec la verticale, on doit prendre
f pour le numérateur de H ; en ce point, le rapport de la flèche à la corde est
, valeur que le rapport de la flèche à la corde atteint rarement dans les voûtes
e cercle.
es voûtes en anse de panier, le joint de rupture, normal à l'intrados, fait avec
ale un angle de 45° ; et si l'on suppose que l'intrados est une ellipse, il est
é par le joint de rupture à une hauteur 0,54b au-dessus des naissances, de
le numérateur de H est $h+0,54b$.

TABLEAU des ponts auxquels M. Léveillé a appliqué ses formules. Dans tous les [illegible] calculée de la clef a été substituée à l'épaisseur réelle, et l'on a pris 0m.[illegible] par [illegible] surcharge.

DÉSIGNATION.	OUVERTURE.	FLÈCHE.	$\frac{f}{d}$	ÉPAISSEUR à la clef — réelle.	ÉPAISSEUR à la clef — calculée.	MAXIMUM des pressions.	[illegible] réelle.
1° Ponts en arc de cercle.							
	m	m		m	m		
Pont sur le chemin des Fruitiers (chemin de fer du Nord)	4.00	0.70	0.175	0.53	0.47	[illegible]	[illegible]
— de Paisia	5.00	0.80	0.160	0.52	0.50	[illegible]	[illegible]
— de Méry (chemin du Nord)	7.63	0.90	0.118	0.65	0.50	[illegible]	[illegible]
— de Mélisey	11.40	1.50	0.132	0.60	0.71	[illegible]	[illegible]
— de Couturette, à Arbois	13.00	1.86	0.143	0.90	0.77	[illegible]	[illegible]
— sur le Salat	14.00	1.90	0.136	1.10	0.90	[illegible]	[illegible]
— de la rue des Abattoirs, à Paris (chemin de fer de Strasbourg)	16.05	1.55	0.097	0.90	0.87	[illegible]	[illegible]
— sur la Forth, à Stirling	16.30	3.12	0.192	0.84	0.88	[illegible]	[illegible]
— Saint-Maxence, sur l'Oise	23.40	1.95	0.083	1.46	1.11	[illegible]	[illegible]
— du chemin de fer du Nord, sur l'Oise	25.10	3.57	0.141	1.40	1.17	[illegible]	[illegible]
— de Dorlaston	26.37	4.11	0.156	1.07	1.21	[illegible]	[illegible]
2° Ponts en plein cintre.							
Aqueduc près d'Enghien (chemin de fer du Nord)	0.60	»	»	0.35	0.35	[illegible]	[illegible]
Pont de Paty	2.00	»	»	0.35	0.40	[illegible]	[illegible]
— sur le Thon	2.00	»	»	0.50	0.40	[illegible]	[illegible]
— des Mévoisins, de Paris à Chartres	3.00	»	»	0.40	0.41	[illegible]	[illegible]
— du Chrochet (chemin de fer de Paris à Chartres)	4.00	»	»	0.50	0.47	[illegible]	[illegible]
— de Long-Sauts, *id.*	5.00	»	»	0.55	0.51	[illegible]	[illegible]
— d'Enghien (chemin de fer du Nord)	7.40	»	»	0.60	0.54	[illegible]	[illegible]
— de Pantin (canal Saint-Martin)	8.20	»	»	0.75	0.61	[illegible]	[illegible]
— de la Bastille, *id.*	11.00	»	»	1.20	0.70	[illegible]	[illegible]
— des Basses-Granges (Orléans à Tours)	15.00	»	»	1.20	0.83	[illegible]	[illegible]
— d'Eymoutiers	20.00	»	»	?	1.00	[illegible]	[illegible]
3° Ponts en anse de panier.							
Pont de Charolles	6.00	2.30	0.383	0.60	0.54	[illegible]	[illegible]
— du canal Saint-Denis	12.00	4.50	0.375	0.90	0.73	[illegible]	[illegible]
— de Château-Thierry	15.59	5.20	0.334	1.14	0.85	[illegible]	[illegible]
— de Dôle sur le Doubs	15.92	5.31	0.335	1.14	0.86	[illegible]	[illegible]
— de Welesley, à Limerich	21.34	5.33	0.25	0.61	1.04	[illegible]	[illegible]
— d'Orléans (chemin de fer de Vierzon)	24.20	7.97	0.328	1.20	1.14	[illegible]	[illegible]
— de Trilport	24.50	8.44	0.344	1.36	1.15	[illegible]	[illegible]
— de Mantes	35.10	10.49	0.313	1.95	1.30	[illegible]	[illegible]
— de Neuilly	38.98	9.74	0.25	1.62	1.62	[illegible]	[illegible]

nème que pour la clef (696), l'épaisseur des culées n'a pas be-
'être augmentée pour la limite des hauteurs ordinaires de
s remblais, et même les culées tendent plutôt à se verser à
ieur de la voûte que vers les terres quand elles ont une très-
e hauteur; c'est ce qui motive les voûtes superposées que l'on
t dans les culées pour entretoiser les murs, suppléer à leur
. d'épaisseur et les empêcher de boucler.

tableau suivant ne contient que des voûtes en plein cintre, les
; pouvant toujours être évitées et ayant le désavantage de né-
er des culées plus fortes.

DÉSIGNATION DES PONTS.	OUVERTURE.	ÉPAISSEUR à la clef		HAUTEUR des culées.	ÉPAISSEUR des culées		SURCHARGE sur l'extrados.
		réelle.	calculée		réelle.	calculée	
	m.	m	m	m	m	m	m
du rempart (Orléans à Tours)	1.20	0.45	0.37	1.20	0.55	0.74	1.70
de Saint-Hilarion (Paris à artres)	2.00	0.40	0.40	3.80	1.20	1.09	4.40
du Tertre (Paris à Chartres)	3.00	0.45	0.43	2.50	1·40	1.30	6.20
de la Tuilerie, *id.*	4.00	0.50	0.47	3.40	1.40	1.58	4.10
des Voisins	5.00	0.55	0.50	2.50	1.50	1.73	5.45
des Basses-Granges (Orléans Tours)	15.00	1.20	0.83	2.00	3.80	3.88	1.30

)8. *Méthode graphique* donnée par M. Méry, ingénieur des ponts
ıssées, *pour calculer la stabilité des voûtes.*

ır ce procédé très-pratique, on peut obtenir les divers éléments
ıcipaux nécessaires pour déterminer les épaisseurs des voûtes
ndriques de toutes les formes et de leurs pieds-droits.

orsqu'une voûte est en équilibre, de quelque manière que, sur
que joint, la pression se répartisse entre les différents points,
semble des pressions partielles donne une résultante unique ap-
ıuée en un point du joint; ainsi, par exemple, pour le joint *ab*
ıre 30, planche III, cette résultante, que nous désignerons par *p*,
ı appliquée au point *g*, et la voûte devra être tenue en équilibre
cette pression *p* et par la poussée horizontale P qui agit au som-
t de la voûte. Sur chacun des autres joints *a'b'*, *a"b"*, etc., il existe
points *g'*, *g"*, etc. analogues à *g*. Tous ces points déterminent
courbe, que M. Méry appelle *courbe des pressions*, qui est très-
ıpre à éclairer sur l'équilibre de la voûte.

Si cette courbe passe au sommet C de la voûte, au point *b* de l'in-
dos et au point extérieur A, cela indique que la voûte tend à s'ou-
ir à l'intrados au joint C, à l'extrados au joint *ab*, et que le pied-
oit tend à tourner autour de l'arête extérieure A.

La courbe des pressions n'atteignant pas les points C, b et L, mais s'en rapprochant comme l'indique la figure, elle montre encore que ces points sont les plus faibles de la voûte.

La résultante de toutes les pressions qui s'exercent sur le joint passant par le point g où la courbe des pressions rencontre ce joint, la moitié des composantes de p agissent sur la portion bg, qui doit résister sans s'écraser; il en est de même de chacune des portions ak, $b'g'$, $b''g''$, Cg'''.

Nous disons que bg doit être capable de supporter la moitié de la pression qui s'exerce sur le joint ba; mais remarquons que la pression allant en augmentant depuis le point g jusqu'en b, l'arête s'écraserait si l'on s'en tenait pour bg à la limite exigée par une pression répartie uniformément.

On n'a rien de bien positif sur la manière dont la pression se répartit sur un joint, mais on admet généralement qu'étant à son maximum en b, elle décroît proportionnellement à la distance de ce point, de sorte que la pression étant moyenne en g, elle est nulle au point h qui donne $hg = 2gb$ (la pression totale étant représentée par la surface d'un triangle dont hb est la hauteur, g le centre de gravité, et dont la base, que nous représenterons par k, est proportionnelle à la pression maximum en b (696); en tout autre point, la pression est représentée par la parallèle menée en ce point à la base du triangle.

Cela posé, comme il est évident qu'au point b la pression k ne doit pas dépasser la limite que comporte la pierre, il en résulte que la partie bg doit être capable de supporter une charge représentée par $k \times bg$, et comme la pression totale sur le joint ab est $k \times \frac{3}{2} bg$, l'on voit que bg doit être capable de supporter les 2/3 de la charge totale du joint, et non la moitié.

La pression s'exerçant suivant la tangente à la courbe des pressions, cette courbe, par son inclinaison sur les divers joints, sert encore à faire connaître les joints où le glissement est à craindre. α étant l'angle que fait la direction de la pression avec le joint du voussoir, l'effort qui agit suivant la direction du joint pour produire le glissement est $p \cos \alpha$, l'effort normal au joint est $p \sin \alpha$, et 0,76 étant le coefficient de frottement ordinairement adopté, on doit avoir pour qu'il y ait stabilité, $p \cos \alpha < p \sin \alpha \times 0,76$, ou $\cos \alpha < \sin \alpha \times 0,76$ (n° 62, 75 et 708).

699. *Tracé de la courbe des pressions.* Une voûte exigeant, pour sa stabilité, que son épaisseur et celle de ses pieds-droits soient plus considérables que ne l'exige l'équilibre statique, on conçoit que la courbe des pressions peut y prendre une infinité de positions différentes sans qu'il soit possible de préciser celle qui se réalisera, cette position dépendant du tassement, que l'on ne peut prévoir exactement

surcharges accidentelles auxquelles la voûte peut être soumise.
nons, fig. 31, pl. III, sur le plan des naissances le point *m* pa-
nt, par ses distances aux points *b* et *a*, devoir appartenir à la
e des pressions (les parties *bm* et *am* doivent chacune pouvoir
ırter sans s'écraser les 2/3 de la charge du joint *ab*) (698); pre-
également sur le joint vertical *cd* le point *n* paraissant, par sa
ıce au point *c*, appartenir à la courbe des pressions, et propo-
nous de tracer cette courbe passant par *m* et *n*, c'est-à-dire de
er les points où elle rencontre les joints *ef*, *hi*, etc.
calcule le poids du voussoir *cdba*, et on détermine la position
ın centre de gravité; soit KG la verticale passant par ce centre
avité; prolongeons cette verticale jusqu'à l'horizontale *n*X, joi-
s K*m*, prenons KS proportionnel au poids trouvé, et terminant
rallélogramme KSRP, KP est proportionnel à la poussée hori-
ıle, et la diagonale KR à la pression totale *p* sur le joint *ab*.
fait, soit *kg* la verticale passant par le centre de gravité du vous-
:*dfe*; prenons *ks* proportionnel au poids de ce voussoir, et *kp*
à la poussée horizontale KP; construisons le parallélogramme
; la diagonale *kr* représente l'intensité et la direction de la pres-
sur le joint *ef*, et le point *o*, où elle rencontre ce joint, est un
points de la courbe des pressions. Opérant sur le voussoir *cdih*
me sur *cdfe*, on détermine le point *q* où la courbe rencontre le
t *hi*, et par la même marche on déterminerait tous les autres
ts de cette courbe.
les points *m* et *n* ont été mal choisis, on ne tarde pas à s'en
cevoir; la courbe que l'on obtient sort des limites convenables
onduit à une épaisseur démesurée de pieds-droits; on fait alors
nouvelle hypothèse sur la position de ces points, et on construit
nouvelle courbe, en se servant évidemment des poids et des po-
ıns des centres de gravité des voussoirs qui ont été déterminés
r la première courbe.
ıpposant que la voûte est construite en matériaux assez résis-
s pour que la pression puisse s'exercer sur les arêtes des vous-
s sans les écraser, il est évident qu'il y aura équilibre tant que la
rbe des pressions ne dépassera en aucun point la limite des vous-
s; mais qu'aussitôt cette limite dépassée, l'équilibre sera rompu
ı voûte n'est pas consolidée par des armatures ou des mortiers
ıe résistance supérieure à l'effort qui tend à rompre l'équilibre.
c les matériaux ordinairement employés, les distances de la
rbe aux extrémités de chaque joint doivent être telles, que cha-
e d'elles soit capable de supporter une charge uniformément ré-
tie égale aux 2/3 de la charge totale qui repose sur le joint. Lors-
deux voûtes opposées s'appuient sur un même pied-droit, on
ıt s'en tenir à l'épaisseur statique, c'est-à-dire à celle où la courbe

des pressions passe aux extrémités des joints de la clef, des [illegible] du plan des naissances; parce que, outre que les poussées [illegible] rendent tout mouvement du pied-droit impossible, la maçonnerie [illegible] relie les deux voûtes au-dessus du plan des naissances rend imp[illegible] le glissement et le renversement de la partie de voûte compris[e] [illegible] les naissances et les reins. Il est évident que le massif de ma[illegible] qui reliera les deux voûtes doit être construit au moins ju[illegible] joints de rupture des voûtes, avant le décintrement et le charge[ment].

700. M. Petit, capitaine du génie, a donné les tableaux [illegible] des valeurs des angles de rupture, c'est-à-dire des angles [illegible] ment avec la verticale les rayons menés du centre de la [illegible] joints de rupture (Extrait du n° 12 du *Mémorial de l'officier* [illegible]

1° *Table des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs limites [illegible] droits des voûtes en plein cintre à extrados parallèle, sans aucune [illegible] surcharge sur la voûte.*

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT [illegible]
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	
2.732	1.154	0° 00′	0.00000	0.98923	
2.70	1.176	13 42	0.00211	0.96262	
2.65	1.212	22 00	0.00319	0.92168	
2.60	1.250	27 30	0.00809	0.88151	
2.50	1.333	35 52	0.02283	0.80346	
2.40	1.428	42 6	0.04109	0.72847	
2.30	1.538	46 47	0.06835	0.65654	
2.20	1.666	51 4	0.08648	0.58767	
2.10	1.810	54 27	0.10926	0.52186	
2.00	2.000	57 47	0.13017	0.45912	[illegible]
1.90	2.282	59 37	0.14813	0.39943	[illegible]
1.80	2.500	61 24	0.16373	0.34281	[illegible]
1.70	2.857	62 53	0.17180	0.28924	[illegible]
1.60	3.333	63 49	0.17517	0.23874	[illegible]
1.59	3.389	63 52	0.17533	0.23386	[illegible]
1.58	3.448	63 55	0.17535	0.22901	[illegible]
1.57	3.508	63 58	0.17524	0.22434	[illegible]
1.56	3.571	64 4	0.17499	0.21940	[illegible]
1.55	3.636	64 3	0.17478	0.21464	[illegible]
1.54	3.703	64 5	0.17445	0.20991	[illegible]
1.53	3.773	64 7	0.17397	0.20521	[illegible]
1.52	3.846	64 8	0.17352	0.20054	[illegible]
1.51	3.920	64 8	0.17310	0.19590	[illegible]
1.50	4.000	64 9	0.17254	0.19130	[illegible]
1.49	4.081	64 8	0.17180	0.18673	[illegible]
1.48	4.166	64 8	0.17095	0.18218	[illegible]
1.47	4.255	64 7	0.17008	0.17766	[illegible]
1.46	4.347	64 6	0.16915	0.17318	[illegible]
1.45	4.444	64 5	0.16798	0.16872	[illegible]
1.44	4.545	64 3	0.16683	0.16430	[illegible]
1.43	4.651	64 0	0.16568	0.15991	[illegible]

ALEUR du apport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas de la rotation.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas du glissement.	RAPPORT $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur-limite du pied-droit au rayon de l'intrados, *stabilité de Lahire.*
1.42	4.761	63° 56'	0.16448	0.15555	0.7906
1.41	4.878	63 52	0.16317	0.15122	0.7874
1.40	5.000	63 48	0.16167	0.14694	0.7838
1.39	5.128	63 43	0.16014	0.14264	0.7801
1.38	5.263	63 38	0.15845	0.13841	0.7760
1.37	5.406	63 32	0.15672	0.13420	0.7717
1.36	5.555	63 26	0.15482	0.13002	0 7670
1.35	5.714	63 19	0.15287	0.12587	0.7622
1.34	5.882	63 10	0.15096	0.12176	0.7574
1.33	6 060	63 00	0.14896	0.11767	0.7524
1.32	6.264	62 50	0.14678	0.11362	0.7468
1.31	6.451	62 33	0.14510	0.10959	0.7425
1.30	6.666	62 14	0.14330	0.10559	0.7379
1.29	6.896	62 9	0.14013	0.10163	0.7297
1.28	7.142	62 3	0.13691	0.09770	0.7213
1.27	7.407	61 47	0.13430	0.09379	0.7144
1.26	7.692	61 30	0.13157	0.08992	0.7071
1.25	8.000	61 15	0.12847	0.08608	0.6987
1.24	8.333	61 1	0.12516	0.08227	0.6896
1.23	8.695	60 40	0.12201	0.07849	0.6809
1.22	9.090	60 19	0.11887	0.07474	0.6721
1.21	9.523	60 00	0.11516	0.07102	0.6615
1.20	10.000	59 41	0.11140	0.06733	0.6504
1.19	10.526	59 10	0.10791	0.06368	0.6404
1.18	11.111	58 40	0.10417	0.06005	0.6292
1.17	11.764	58 9	0.10021	0.05646	0.6171
1.16	12.500	57 40	0.09593	0.05289	0.6038
1.15	13.333	57 1	0.09176	0.04935	0.5905
1.14	14.285	56 23	0.08729	0.04585	0.5759
1.13	15.384	55 45	0.08254	0.04237	0.5601
1.12	16.666	54 48	0.07789	0.03984	0.5444
1.11	18.181	54 10	0.07273	0.03552	0.5259
1.10	20.000	53 15	0.06754	0.03213	0.5066
1.09	22.222	52 14	0.06177	0.02879	
1.08	25.000	51 7	0.05649	0.02546	
1.07	28.571	49 48	0.05065	0.02217	
1.06	33.333	48 18	0.04455	0.01891	
1.05	40.000	46 32	0.03813	0.01568	
1.04	50.000	44 4	0.03139	0.01249	
1.03	66.666	41 4	0.02459	0.00932	
1.02	100.000	38 12	0 01691	0.00618	
1.01	200.000	32 36	0.00889	0.00308	
1.00	Infini.	00 00	0.00009	0.00000	

Observations sur la table précédente, et usage de cette table.

R rayon de l'extrados;

r rayon de l'intrados;

C rapport de la poussée horizontale maximum agissant à la clef au carré du rayon r.

Pour obtenir la valeur de la poussée horizontale en kilogrammes, par mètre courant:

de longueur de voûte, il suffit de multiplier le produit Cr^2 par le poids d'un mètre cube de maçonnerie, qui est ordinairement de 2250 kilogrammes pour le moellon.

L'auteur de cette table remarque que la rupture des voûtes en plein cintre à extrados parallèle n'a lieu que par rotation à l'intérieur autour d'un joint des reins, ou par glissement à l'intérieur sur un des joints.

Les valeurs du rapport C sont calculées, dans les cas de glissement, en supposant le coefficient du frottement égal à 0,577; c'est la valeur donnée par Rondelet pour les parallélipipèdes en pierre de liais, équarris et dressés au grès, glissant sur un plan de même pierre et dressé de même. De ses expériences, Boistard conclut qu'il faut faire ce coefficient égal à 0.76 pour la maçonnerie (62 et 708).

L'examen des valeurs de C fait voir que dès que le rapport $\frac{R}{r}$ descend à 1.44, la poussée horizontale devient plus faible pour produire le glissement que pour produire la rotation; par conséquent, pour les voûtes donnant $\frac{R}{r}$ supérieur à 1.44, on adoptera les valeurs de C dues au glissement, et pour celles dont les valeurs de $\frac{R}{r}$ sont de 1.44 et au-dessous, on adoptera les valeurs de C dues à la rotation. Un interligne horizontal placé dans les colonnes de la table indique la limite où l'une des valeurs de C commence à surpasser l'autre.

L'épaisseur-limite du pied-droit dont il est question dans la 6e colonne de la table est l'épaisseur qu'il faudrait adopter si la hauteur du pied-droit était infinie. Dans les cas ordinaires de la pratique, quand on n'a pas besoin d'une très-grande stabilité, on peut réduire cette épaisseur-limite de 1/10 environ.

Soit à déterminer, par exemple, l'épaisseur limite à donner aux pieds-droits d'une voûte à extrados parallèle, de 5 mètres de diamètre, en faisant usage de la table précédente.

On commence par déterminer l'épaisseur de la voûte d'après la formule de Perronet, ce qui donne

$$e = 0.0347d + 0.325 = 0.0347 \times 5 + 0.325 = 0^{m}.498.$$ 504

On a donc $r = 2^{m}.50$, $R = 2^{m}.998$, et par suite,

$$\frac{R}{r} = 1.20.$$

Ce rapport étant moindre que 1.44, la poussée par rotation est supérieure à celle par glissement, et on doit prendre

$$C = 0.11140.$$

La poussée par mètre courant est alors

$$0.11140 \times r^2 \times 2250 = 0.11140 \times 2.50 \times 2.50 \times 2250 = 1566 \text{ kilog.}$$

L'épaisseur-limite des pieds-droits est, en adoptant la stabilité de Lahire,

$$\sqrt{2C} \times r = 0.6504 \times 2.50 = 1^{m}.626.$$

Si les pieds-droits, au lieu d'être supposés avoir une hauteur infinie, n'avaient que 3 mètres de hauteur, on pourrait, d'après une application d'une formule de M. Petit faite par M. Morin, réduire l'épaisseur $1^{m}.626$ à $1^{m}.457$.

ble des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs-limites des pieds-droits voûtes en plein cintre extradossées en chape à 45°. Ce sont des voûtes en plein tre extradossées parallèlement, mais couvertes d'une chape en maçonnerie dont lan supérieur est incliné à 45° à l'horizon et tangent à l'extrados de la voûte.

LEUR du pport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas de la rotation.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas du glissement.	RAPPORT $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur-limite du pied-droit au rayon de l'intrados, *stabilité de Vauban.*
.00	2.000	60°	0.26424	0.74364	1.7246
.90	2.222	60	0.28416	0.65648	1.6204
.80	2.500	60	0.29907	0.57383	1.5147
.70	2.857	60	0.30867	0.49564	1.4084
.60	3.333	60	0.31245	0.42194	1.2990
.59	3.389	60	0.31249	0.41478	1.2880
.58	3.448	60	0.31257	0.40841	1.2781
.57	3.508	61	0.31264	0.40067	1.2660
.56	3.571	61	0.31246	0.39367	1.2548
.55	3.636	61	0.31222	0.38673	1.2437
.54	3.703	61	0.31191	0.37983	1.2318
.53	3.773	61	0.31153	0.37297	1.2214
.52	3.846	61	0.31108	0.36615	1.2102
.51	3.920	61	0.31056	0.35938	1.1989
.50	4.000	61	0.30996	0.35266	1.1877
.49	4.081	61	0.30928	0.34598	1.1764
.48	4.166	61	0.30855	0.33934	1.1650
.47	4.255	61	0.30772	0.33275	1.1537
.46	4.347	60	0.30685	0.32621	1.1422
.45	4.444	60	0.30587	0.31971	1.1308
.44	4.545	60	0.30485	0.31325	1.1193
.43	4.651	60	0.30408	0.30684	1.1078
.42	4.761	60	0.30296	0.30047	1.1008
.41	4.878	60	0.30173		1.0986
.40	5.000	59	0.30001	0.28787	1.0954
.39	5.128	59	0.29712		1.0914
.38	5.263	59	0.29706		1.0893
.37	5.406	59	0.29550		1.0872
.36	5.555	59	0.29386		1.0841
.35	5.714	58	0.29285		1.0823
.34	5.882	58	0.29037		1.0777
.33	6.060	58	0.28850		1.0742
.32	6.264	58	0.28654		1.0705
.31	6.451	57	0.28456		1.0668
.30	6.666	57	0.28231	0.22756	1.0626
.29	6.896	57	0.28027		1.0588
.28	7.142	56	0.27810		1.0547
.27	7.407	56	0.27578		1.0503
.26	7.692	55	0.27343		1.0458
.25	8.000	54	0.27102		1.0412
.24	8.333	53	0.26850		1.0363
.23	8.695	53	0.26608		1.0316
.22	9.090	52	0.26377		1.0272
.21	9.523	51	0.26074		1.0217

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur-limite des pieds-droits au rayon de l'intrados stabilité de l'unité
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	
1.20	10.000	50°	0.25806	0.17171	1.0160
1.19	10.526	50	0.25546		1.0149
1.18	11.111	49	0.25277		1.0065
1.17	11.764	49	0.25010		1.0002
1.16	12.500	48	0.24742		0.9946
1.15	13.333	47	0.24477		0.9894
1.14	14.285	46	0.24218		0.9842
1.13	15.384	44	0.23967		0.9791
1.12	16.666	43	0.23732		0.9743
1.11	18.181	43	0.23502		0.9685
1.10	20.000	42	0.23292	0.12032	0.9652
1.05	40.000	36	0.22902		0.9571

Les observations de la table 1° s'appliquent également à celle-ci, et pour déterminer l'épaisseur-limite des pieds-droits, on suit aussi la même marche; ainsi, on commence par déterminer l'épaisseur de la voûte extradossée parallèlement, à l'aide de la formule de Perronnet; on a alors $\frac{R}{r}$, et le tableau donne la valeur de C qui correspond à ce rapport; puis de cette valeur de C on conclut la poussée horizontale, ainsi que l'épaisseur-limite des pieds-droits. En opérant de cette manière, on trouverait, pour une voûte de 8 mètres de diamètre à l'intrados,

$$e = 0^{m}.6026, \quad \frac{R}{r} = 1.15, \quad C = 0.24477.$$

La poussée horizontale par mètre courant est $0.24477 \times r^2 \times 2250 = 8811$ kilog. et l'épaisseur-limite des pieds-droits est, en adoptant la stabilité de Vauban, $\sqrt{2C} \times r = 0{,}9894 \times r = 3^{m}{,}9576$. Si les pieds-droits avaient 5 mètres de hauteur, on pourrait prendre pour leur épaisseur $3^{m}{,}676$.

'able des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs-limites des pieds-oits des voûtes en plein cintre extradossées horizontalement. Ce sont des voûtes plein cintre extradossées parallèlement, et couvertes d'un massif de maçonnerie nt le plan supérieur est horizontal et tangent à l'extrados de la voûte.

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas de la rotation.	Cas du glissement.	RAPPORT $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur-limite du pied-droit au rayon de l'intrados, *stabilité de Lahire.*
2.00	2.000	36°	0.05486	0.50358	1.3834
1.90	2.222	39	0.07104	0.43966	1.2925
1.80	2.500	44	0.08850	0.37901	1.2004
1.70	2.857	48	0.10631	0.32164	1.1055
1.60	3.333	52	0.12300	0.26755	1.0082
1.59	3.389	52	0.12453	0.26232	0.9984
1.58	3.448	53	0.12602	0.25712	0.9885
1.57	3.508	53	0.12747	0.25196	0.9784
1.56	3.571	54	0.12837	0.24683	0.9684
1.55	3.636	54	0.13027	0.24173	0.9584
1.54	3.703	55	0.13153	0.23667	0.9483
1.53	3.773	55	0.13289	0.23163	0.9381
1.52	3.846	55	0.13414	0.22664	0.9280
1.51	3.920	55	0.13531	0.22167	0.9177
1.50	4.000	56	0.13648	0.21673	0.9075
1.49	4.081	56	0.13756	0.21183	0.8972
1.48	4.166	56	0.13856	0.20696	0.8868
1.47	4.255	57	0.13952	0.20213	0.8764
1.46	4.347	57	0.14041	0.19733	0.8659
1.45	4.444	57	0.14122	0.19256	0.8554
1.44	4.545	58	0.14195	0.18782	0.8448
1.43	4.651	58	0.14268	0.18312	0.8341
1.42	4.761	58	0.14371	0.17845	0.8234
1.41	4.878	59	0.14376	0.17381	0.8126
1.40	5.000	59	0.14421	0.16920	0.8018
1.39	5.128	59	0.14456	0.16463	0.7909
1.38	5.263	59	0.14481	0.16009	0.7799
1.37	5.406	60	0.14498	0.15558	0.7689
1.36	5.555	60	0.14506	0.15111	0.7577
1.35	5.714	60	0.14504	0.14666	0.7465
1.34	5.882	60	0.14491	0.14225	0.7420
1.33	6.060	61	0.14467		0.7414
1.32	6.264	61	0.14460		0.7412
1.31	6.451	61	0.14390		0.7394
1.30	6.666	61	0.14332	0.12495	0.7379
1.29	6.896	61	0.14264		0.7362
1.28	7.142	62	0.14186		0.7342
1.27	7.407	62	0.14101		0.7320
1.26	7.692	62	0.13988		0.7290
1.25	8.000	62	0.13872	0.10405	0.7260
1.24	8.333	62	0.13737		0.7225
1.23	8.695	63	0.13593		0.7187
1.22	9.090	63	0.13437		0.7145
1.21	9.523	63	0.13263		0.7099

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas de la rotation.	Cas du glissement.	[illegible]
1.20	10.000	63°	0.13073	0.06397	[illegible]
1.19	10.526	63	0.12870		[illegible]
1.18	11.111	63	0.12650		[illegible]
1.17	11.764	64	0.12415		[illegible]
1.16	12.500	64	0.12182		[illegible]
1.15	13.333	64	0.11895	0.06471	[illegible]
1.14	14.285	64	0.11608		[illegible]
1.13	16.384	64	0.11303		[illegible]
1.12	16.666	64	0.10979		[illegible]
1.11	18.181	65	0.10641		[illegible]
1.10	20.000	65	0.10279	0.04627	[illegible]
1.09	22.222	66	0.098992		[illegible]
1.08	25.000	66	0.094967		[illegible]
1.07	28.571	67	0.091189		[illegible]
1.06	33.333	68	0.086376		[illegible]
1.05	40.000	69	0.081755	0.02865	[illegible]
1.04	50.000	70	0.076857		
1.03	66 666	71	0.071853		
1.02	100.000	73	0.066469		
1.01	200.000	74	0.061324		
1.00	Infini.	75	0.055472	0.01185	

Les observations des tables 1° et 2° s'appliquent également à cette dernière et pour une voûte de 10 mètres de diamètre à l'intrados, la règle de Perronet donnant

$$e = 0^m,672,$$

on conclut $\frac{R}{r} = 1.13$ et $C = 0.11303$.

La poussée horizontale par mètre courant est alors

$$0.11303 \times r^2 \times 2250 = 6359 \text{ kilog.},$$

et l'épaisseur-limite des pieds-droits, en adoptant la stabilité de Lahire,

$$\sqrt{2C} \times r = 0,6553 \times 5 = 3^m,2765.$$

Si les pieds-droits n'avaient qu'une hauteur de 5 mètres, on pourrait prendre pour leur épaisseur $2^m.8075$.

701. M. Petit a encore considéré les *voûtes en arc de cercle extradossées parallèlement*. Il convient de distinguer le cas où la moitié de l'angle au centre correspondant à l'arc de la voûte est plus grand que l'angle de rupture donné par la table 1°, page 1032, pour une voûte

in cintre extradossée parallèlement et pour une même valeur de

le cas où α est plus petit que cet angle de rupture.

ron de l'arc d'extrados;
ron de l'arc d'intrados. Ayant r, on détermine l'épaisseur de la voûte à la clef, et par suite R, à l'aide de la règle de Perronnet (696).

Si α est plus grand que l'angle de rupture, la poussée horizontale même que si la voûte était en plein cintre avec R et r pour is, et elle se détermine comme au 1° du numéro précédent. Quant aisseur-limite E des pieds-droits, on la calcule à l'aide de la ule

$$E = r\sqrt{3,8C}.$$

la valeur consignée table 1°, page 1032.

ns les cas ordinaires de la pratique, on peut diminuer de 1/10 épaisseur-limite.

Si le demi-angle α est plus petit que l'angle de rupture donné e 1°, page 1032, ce qui a lieu ordinairement dans la pratique, on rmine le rapport C de la poussée au carré du rayon de l'intrados aide de la table suivante, relative à sept valeurs différentes de yant C, on calcule l'épaisseur-limite des pieds-droits à l'aide de ormule

$$E = r\sqrt{3,8C}.$$

Tables des poussées des voûtes en arc de cercle extradossées parallèlement
(*l* est l'ouverture de la voûte et *f* la flèche de l'arc d'intrados).

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	Rapport C de la poussée au carré du rayon, pour						
	$l = 4f$ $r = 2.500f$ $\alpha = 53°7'30''$	$l = 5f$ $r = 3.625f$ $\alpha = 43°36'10''$	$l = 6f$ $r = 5f$ $\alpha = 36°52'10''$	$l = 7f$ $r = 6.625f$ $\alpha = 31°53'26''$	$l = 8f$ $r = 8.500f$ $\alpha = 28°4'20''$	$l = 10f$ $r = 13f$ $\alpha = 22°37'10''$	$l = 16f$ $r = 32.8f$ $\alpha = 14°[illegible]$
1.40	0.15445	0.14691	0.14691	0.14691	0.14691	0.14478	
1.35	0.14717	0.13030	0.12587	0.12587	0.12587	0.12405	
1.34	0.14543	0.12987	0.12171	0.12171	0.12171	0.11999	
1.33	0.14364	0.12781	0.11767	0.11767	0.11767	0.11596	
1.32	0.14173	0.12634	0.11362	0.11362	0.11362	0.11196	
1.31	0.13975	0.12486	0.10959	0.10959	0.10959	0.10800	
1.30	0.13764	0.12331	0.10682	0.10559	0.10559	0.10406	
1.29	0.13543	0.12164	0.10563	0.10163	0.10163	0.10016	
1.28	0.13311	0.11988	0.10437	0.09770	0.09770	0.09628	
1.27	0.13068	0.11803	0.10304	0.09379	0.09379	0.09244	
1.26	0.12815	0.11609	0.10160	0.08992	0.08992	0.08862	
1.25	0.12547	0.11402	0.10009	0.08668	0.08608	0.08483	0.07189
1.24	0.12270	0.11251	0.09850	0.08549	0.08227	0.08106	0.06862
1.23	0.12031	0.10958	0.09679	0.08423	0.07849	0.07735	0.06547
1.22	0.11675	0.10725	0.09499	0.08291	0.07474	0.07366	0.06234
1.21	0.11354	0.10460	0.09305	0.08148	0.07102	0.06999	0.05921
1.20	0.11023	0.10196	0.09102	0.07999	0.06984	0.06636	0.05616
1.19	0.10676	0.09915	0.08885	0.07834	0.06859	0.06275	0.05311
1.18	0.10313	0.09617	0.08653	0.07651	0.06727	0.05918	0.05008
1.17	0.09934	0.09303	0.08408	0.07468	0.06583	0.05212	0.04709
1.16	0.09537	0.08975	0.08144	0.07264	0.06420	0.05004	0.04411
1.15	0.09123	0.08634	0.07866	0.07050	0.06259	0.04904	0.04116
1.14	0.08690	0.08257	0.07568	0.06842	0.06077	0.04803	0.03824
1.13	0.08238	0.07869	0.07251	0.06558	0.05890	0.04671	0.03535
1.12	0.07764	0.07459	0.06911	0.06297	0.05659	0.04451	0.03247
1.11	0.07269	0.07042	0.06548	0.06026	0.05424	0.04384	0.02963
1.10	0.06737	0.06563	0.06458	0.05666	0.05160	0.04214	0.02681
1.09	0.06211	0.06077	0.05739	0.05345	0.04871	0.04023	0.02401
1.08	0.05636	0.05652	0.05288	0.04934	0.04552	0.03806	0.02192
1.07	0.05052	0.05011	0.04804	0.04426	0.04200	0.03560	0.02111
1.06	0.04431	0.04428	0.04280	0.04058	0.03861	0.03276	0.02002
1.05	0.03776	0.03804	0.03709	0.03550	0.03357	0.02944	0.01982
1.04	0.03096	0.03144	0.03095	0.02992	0.02862	0.02561	0.01739
1.03	0.02378	0.02437	0.02424	0.02369	0.02293	0.02134	0.01524
1.02	0.01625	0.01681	0.01690	0.01673	0.01640	0.01546	0.01199
1.01	0.00834	0.00874	0.00886	0.00889	0.00885	0.00862	0.00757

Pour une voûte extradossée parallèlement, dont $\alpha = 28° 4' 20''$, $l = 8f = 8$ mètres et $r = 8{,}5f = 8^{m},5$, la formule de Perronnet (696) donne pour l'épaisseur de la voûte à la clef

$$e = 0^{m},915, \quad \text{d'où} \quad R = 9^{m},415 \quad \text{et} \quad \frac{R}{r} = 1,107.$$

:e rapport tombant entre les valeurs 1,10 et 1,11 du tableau, la dif- ence des valeurs de C correspondant à 1,107 et à 1,11 se détermine aide de la proportion

$$(1,11 - 1,10) : (0,05421 - 0,05160) = (1,11 - 1,107) : x,$$

donne $x = 0,000783$; donc $C = 0,05343$.

L'épaisseur-limite des pieds-droits est alors

$$E = 8,5\sqrt{3,8 \times 0,05343} = 3^{m},825.$$

Pour une hauteur de pieds-droits de $4^{m},25$ on pourrait fair $= 3^{m},244$.

Glissement des voûtes en arc de cercle sur les joints de leurs nais- nces. Le frottement, par mètre courant, de la voûte sur le joint de aque naissance a pour expression, en adoptant ici 0,76 pour coeffi- ent de frottement,

$$0,38\,\alpha\left(\frac{R^2}{r^2} - 1\right)r^2 \times 2250 \text{ kilog.}$$

est le demi-arc, exprimé en mètres, qui correspond à l'angle au centre correspondant à l'arc de la voûte, l'arc α étant décrit avec un mètre pour rayon ; ainsi, pour un angle au centre de 25°, on a $\alpha = \frac{25 \times 2 \times 3.14}{360} = 0^{m}.436$.

La poussée horizontale par mètre courant est, en prenant pour C la leur consignée au tableau précédent,

$$Cr^2 \times 2250 \text{ kilog.}$$

Pour le système $l = 4f$, la poussée surpasse le frottement quand est égal ou inférieur à 1,06. Pour les systèmes $l = 5f$, $l = 6f$, $l = 7f$, $= 8f$ et $l = 10f$, le glissement commence à $\frac{R}{r} = 1,15$. Pour le sys- me $l = 16f$ et tous les systèmes plus surbaissés, le glissement a lieu ıelle que soit l'épaisseur de la voûte.

Lorsque la poussée dépasse le frottement, il faut employer des ti- ınts, arcs-boutants, etc., capables de résister à l'excès de la poussée ır le frottement.

Pour les voûtes en anse de panier, on pourra calculer l'épaisseur à onner aux pieds-droits comme pour une voûte en arc de cercle de ıême ouverture et de même flèche (697).

702. TABLEAU *relatif à la construction des voûtes en petits matériaux hourdés en ciment de Vassy*, dressé par M. Darcel (*Annales des ponts et chaussées*, 1855.)

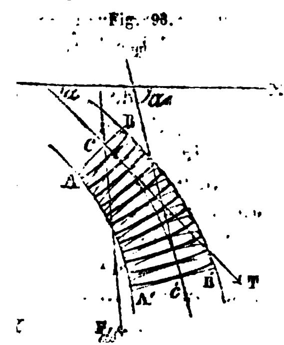
Indication des arches de ponts construits en petits matériaux et mortier de ciment de Vassy.	Nombre d'arches.	Forme des voûtes.	Ouverture.	Flèche.	Épaisseur moyenne à la clef.	Épaisseur aux naissances.	Matériaux employés.	Composition du mortier en volume, le ciment mesuré en poudre non tassée. (sabl.)	(cim.)	Poids du mètre cube de maçonnerie.	Rayon de courbure maximum de l'intrados.	Pression moyenne par centimètre carré à la clef.	Nombre de jours écoulés entre la fermeture de la voûte et le décintrement.	Abaissement observé.	Épaisseur des culées.
			m	m.	m	m		sabl.	cim.	k	m	k		m	m
Arche d'essai faite à Vassy. 1844	1	Arc de cercle	31.00	2.99	1.30	2.00	Moellons calcaires	1	1	2 400	41.64	10.70	30	0.00	11.00
— la clef réduite à 0m,30.	*Id.*	*Id.*	*id.*	*id.*	0.30	*id.*	— *id.*	*id.*	*id.*	*id.*	*id.*	41.00	*id.*	*id.*	*id.*
Pont aux Doubles, à Paris. 1847	1	*Id.*	31 00	3.10	1.35	3 00	— de meulière	1	1	2 000	40.30	10.70	180	0.02	13.00
Pont aqueduc d'Avallon. 1847	1	*Id.*	30.00	3.00	1.00	1.50	— de granit	1	1	2 500	39.00	19.20	180	0.02	15.60
Pont d'Arcy-sur-Eure. 1847	2	*Id.*	20.00	2.50	1.00	1.00	— calcaires	1	1	2 100	21.25	6.15	180	0.00	7.00
Arche marinière de Villeneuve-sur-Yonne. 1851	1	Anse de panier.	34.00	7.80	1.12	3.50	— de grès	1	1	2 400	40.00	11.20	10	0.00	»
Pont Napoléon, à Paris, chemin de fer de ceinture. 1853	5	Arc de cercle.	34.50	4.60	1.20	1.20	— de meulière	1	1	2 000	34.64	9.10	30	0.00	14.00
Petit Pont, à Paris. 1853	1	*Id.*	amont 31; av. 32,5	3.10	1.35	2.00	— *id.*	1	1	2 000	44.14	11.60	30	0.04	13.00
Pont Notre-Dame, à Paris. 1853	5	Ellipse.	18.76	7.53	0.90	2.35	— calcaires tendres.	2	1	2 000	11.68	3.50	1	0.00	»
Pont d'Austerlitz, à Paris. 1854	5	Arc de cercle.	32.24	4.10	1 20	1 20	— de meulière	3	2	2 000	33.75	90	30	0.035	10.00
Pont des Invalides, à Paris. 1855	4	*Id.*	31.90	3.40	1 20	1.80	— *id.*	3	2	2 000	39.11	9.60	30	0.04	11.00
Pont de l'Alma, à Paris. 1855	8	Ellipse.	43.00	8.60	1.50	3.10	— *id.*	3	2	2 000	53.75	13.50	»	»	10.00
Pont de l'Arche sur la Seine 1855	4	*Id.*	30.00	8.50	1.00	»	— piqués de craie dure.	2	1	2 200	25.50	8.00	»	»	9.00

D'après M. Darcel, le prix de revient des ponts en ciment a été à peu près invariablement, à Paris, de 320 fr. le mètre carré, à compter d'une extrémité à l'autre des culées, sans y comprendre les fondations, mais en comptant la pierre de taille des têtes, tympans, corniches, parapets, etc.; ce qui, pour un pont de chemin de fer à deux voies, soit d'environ 8m,60 de largeur entre les têtes, porterait la dépense, par mètre courant de pont, de l'extrémité d'une culée à l'autre, à 2752 fr., les fondations exceptées.

. Théorie des voûtes par M. Yvon Villarceau. Comme le fait e qui précède, les ingénieurs et les architectes qui s'étaient oc- de la théorie si délicate des voûtes, supposant connues les formes ntrados et de l'extrados, avaient cherché les conditions d'équi- que ces formes exigeaient, afin d'en conclure le mode de répar- des charges le plus favorable à la stabilité. La pratique exigeant épartition de charges assez rigoureusement déterminée, on con- es difficultés que l'on doit éprouver pour satisfaire le plus conve- ment possible aux conditions de stabilité d'une voûte; aussi ces itions sont-elles rarement satisfaites d'une manière rigoureuse.

Yvon Villarceau, pour arriver à satisfaire d'une manière cer- , et la plus convenable, aux conditions d'équilibre, envisage la tion sous un point de vue tout différent : ainsi, prenant précisé- t pour inconnues les données de la théorie habituelle, il se propose chercher les formes d'intrados et d'extrados qui assureront la plus de stabilité d'une voûte destinée à supporter des charges dont les isités et le mode de répartition sont fixés d'avance par les exi- es de la pratique, et cela, tout en fixant, *à priori*, la flèche et l'ou- ure de l'arche. C'est ainsi que le problème se présente ordinai- ent dans la pratique.

our établir ces conditions d'équilibre, M. Yvon Villarceau fait x hypothèses :


Fig. 93.

D'abord, il imagine que, sans altérer en rien le poids des voussoirs et la position de leurs centres de gravité (cette position suppose les voussoirs infiniment minces et les plans de joints normaux à la courbe *cc'* passant par les centres de gravité de ces voussoirs), on leur donne la forme indiquée par la fig. 93, c'est-à-dire qu'on les taille de telle manière qu'ils ne soient en contact que suivant les arêtes ou génératrices qui ont leurs pieds sur la courbe *cc'* des tres de gravité des voussoirs.

nsuite il fait abstraction du frottement et de la résistance qu'oppose hésion du mortier au glissement des voussoirs les uns sur les res, qui du reste ne se développent pas en se conformant aux dis- itions indiquées par la théorie.

l est évident que si l'équilibre peut exister dans un système établi vant ces hypothèses, il subsistera *à fortiori* lorsqu'on remplacera contact des arêtes par celui des plans de joint, et que l'adhésion des rtiers ainsi que le frottement pourront prendre naissance, le rôle

de ces dernières forces étant de s'opposer au glissement, quand il tend à se produire.

M. Yvon Villarceau, après avoir établi en formules fondamentales les conditions d'équilibre des voûtes, a réduit en tables les résultats que fournissent ces formules. Ces tables et quelques formules empiriques donnent tous les éléments nécessaires à l'établissement des voûtes.

Par l'application de sa théorie à un certain nombre d'arches en anse de panier des ponts les plus célèbres qui existent, M. Yvon Villarceau a reconnu que toutes pèchent plus ou moins gravement contre l'emploi économique des matériaux et contre le rapport qui doit exister entre la flèche et l'ouverture. Ce rapport doit, pour les voûtes en anse de panier, rester compris entre 1/3 et 1/4, et ne jamais atteindre ni l'une ni l'autre de ces limites, comme on l'a presque toujours fait jusqu'à présent; il doit se rapprocher du 1/3 dans les arches d'une faible ouverture, et du 1/4 dans celles à grande portée. Au 1/4, les pierres ne sont plus assez résistantes; au 1/3, les épaisseurs fournies par la théorie devraient, pour satisfaire à toutes les conditions qu'on s'est imposées, recevoir des valeurs considérables, et les pressions dans les joints seraient faibles, ce qui impliquerait un vice d'économie dans l'emploi des matériaux. La forme de plein cintre répond à des charges infiniment grandes, et ne convient par conséquent pas aux arches de ponts. Celle des tunnels s'en rapproche au contraire en raison des charges considérables que leurs voûtes ont à supporter (692).

M. Yvon Villarceau a reconnu que dans la plupart de nos grands ponts on aurait pu réduire d'un tiers environ l'épaisseur des voûtes qui ont été surbaissées au 1/3, sans faire subir aux voussoirs des pressions excédant le dixième, ou même le quinzième des charges de rupture, et cela, en diminuant convenablement la flèche, ce qui eût permis d'exhausser les naissances sans changer le niveau du pavé de la chaussée. Cet exhaussement, joint à la réduction de l'épaisseur à la clef, eût offert au passage des eaux un débouché plus considérable, en même temps qu'il eût facilité la navigation. Ainsi, au pont de Roanne, les naissances eussent pu être élevées de 80 centimètres, et la clef être réduite à 92 centimètres d'épaisseur. Il n'en fallait peut-être pas davantage pour sauver ce pont de la ruine qui l'a atteint dans le débordement de la Loire.

M. Yvon Villarceau a calculé tous les éléments de trois arches différentes: l'une, dite en arc de cercle, établie sur les données du pont d'Iéna, c'est-à-dire ayant 25 mètres d'ouverture et 3 mètres de flèche; une seconde, aussi dite en arc de cercle, de 45 mètres d'ouverture et 5 mètres de flèche; la troisième en anse de panier, de 60 mètres d'ouverture et 16^m,25 de flèche. L'épaisseur de 1^m,86 et la pression hori-

à la clef seraient les mêmes dans la voûte en anse de panier de
·es d'ouverture que dans celle dite en arc de cercle de 45 mètres.
sion dans le joint des naissances serait représentée par une
e de pierre de 112 mètres de hauteur; ce qui est bien inférieur
ème de la charge de rupture des matériaux d'excellente qualité,
mploie dans ces sortes de constructions. Une telle arche serait
hardie qui eût jamais été construite de main d'homme.
ont d'Iéna, la distance maximum de l'intrados théorique à l'arc
le qui existe, et qui a même ouverture et même flèche, est de
timètres; ce maximum a lieu à une distance horizontale de l'axe
oûte égale aux 7/10 de la demi-ouverture. Dans l'arche de 45
s, l'écart maximum de l'arc de cercle au-dessous de l'intrados
que est de 30 centimètres, et, comme dans le cas précédent et
e suivant, il se trouve encore aux 7/10 de la demi-ouverture à
de l'axe de la voûte. Dans la voûte en anse de panier de 60 mè-
l'ouverture, le plus grand écart entre l'intrados théorique et
se qui a pour grand axe l'ouverture de l'arche et pour demi-
axe la flèche, est de 40 centimètres.
écarts qui existent entre l'exécution et la théorie sont bien rare-
négligeables. Ainsi M. Yvon Villarceau prouve que quand il est
sixième de l'épaisseur, comme dans la voûte dite en arc de cercle
mètres d'ouverture, la pression vers l'extrados devient double
pression uniforme qui a lieu sur le joint correspondant dans sa
ruction, tandis qu'elle est nulle à l'intrados. Dans la voûte en anse
nier, où l'écart de 40 centimètres est de beaucoup supérieur au
me de l'épaisseur de la voûte, le joint tend à s'ouvrir à l'intrados
à une profondeur de 14 centimètres, tandis qu'à l'extrados la
sion est égale à deux fois et un dixième celle qui a lieu uniformé-
t sur tout le joint de l'arche proposée.
us devons mentionner l'*Etude sur la stabilité des voûtes*, par
arvallo, ingénieur des ponts et chaussées, dans laquelle MM. les
nieurs et constructeurs trouveront des renseignements théoriques
ratiques relatifs à l'établissement des voûtes (*Annales des ponts*
haussées, 1853).

14. La *construction des voûtes* comprend quatre phases distinctes
: 1° l'établissement et le levage des cintres; 2° l'exécution de la
onnerie sur cintres; 3° le décintrement; 4° les travaux complé-
ntaires qui ne doivent être faits qu'après le décintrement.

intres. Les cintres de ponts s'exécutent en charpente. L'espacement
fermes varie de $1^m,25$ à $2^m,00$. A égalité, et même avec un léger
ès de dépense, on doit donner la préférence aux fermes peu espa-
s, lesquelles, étant moins chargées, se prêtent mieux à un décin-
ment méthodique et gradué. Les couchis se posent jointifs lorsque
voûtes sont en petits matériaux; ils forment ainsi une espèce de

plancher sur lequel les ouvriers circulent ; cependant on donne souvent aux couchis des dimensions suffisantes pour pouvoir les espacer de 0m,10 à 0m,15, et on les recouvre de planches minces jointives, que l'on fixe transversalement dessus, en leur faisant prendre la courbure de l'intrados de la voûte. Quand les voûtes sont en pierres de taille, les couchis peuvent être espacés entre eux, car alors il suffit qu'au milieu de chaque rang de voussoirs se trouve une file de couchis, de manière que tous les joints correspondent à un espace libre et soient accessibles par-dessous. La largeur des couchis varie de 1 fois à 3 fois au plus leur épaisseur.

Les fermes de cintres peuvent être combinées suivant trois principes différents : ou bien ces fermes ne sont soutenues qu'à leurs naissances par la maçonnerie, qui supporte à la fois la charge verticale et la poussée horizontale de ces fermes, on dit alors que les cintres sont *retroussés;* ou bien il existe, d'une naissance à l'autre, un certain nombre de points fixes dont l'effet est réellement de partager la ferme totale en plusieurs autres de moindre ouverture, on dit alors que les cintres sont *fixes;* enfin on emploie encore un système mixte, qui consiste à établir d'abord les fermes de manière qu'elles puissent être soutenues sur leurs deux naissances seulement, puis à les étayer, pendant la construction, au moyen d'un certain nombre d'appuis fixes. On trouve dans cette dernière disposition l'avantage de pouvoir partager en deux l'effet du décintrement, en supprimant d'abord les étais, puis en n'enlevant le cintre proprement dit qu'après le premier effet du tassement.

Quelle que soit la composition d'un appareil de cintre, il est indispensable qu'il soit *contre-venté*, c'est-à-dire que les fermes soient reliées entre elles par des moises horizontales ou en écharpe. De plus, il est indispensable : 1° *d'empêcher le relèvement du sommet des fermes au moyen de grandes moises ou de brides partant de ce sommet et fixées vers les naissances, et d'ailleurs au moyen d'une surcharge provisoire sur le sommet pendant la construction des reins* ; 2° *de ramener autant que possible tous les efforts à des résultantes horizontales qui se neutralisent réciproquement, en montant la voûte symétriquement des deux côtés à la fois.*

Lors de la pose des cintres, la plupart des constructeurs ont l'habitude de donner aux fermes un certain surhaussement, dont l'objet est de contre-balancer à peu près l'abaissement du sommet de la voûte qui peut résulter, tant du tassement du cintre pendant la construction que de celui de la voûte elle-même après le décintrement. Dans l'état actuel de la science, et quoique plusieurs constructeurs se soient beaucoup occupés de cette question, le mode et la quantité de surhaussement ne peuvent absolument point être calculés, et à cet égard, force est d'agir un peu au hasard.

exhaussement des cintres paraît bien motivé par les tassements ...ts observés après le décintrement de quelques ponts.

PONTS.	SYSTÈME.	OUVERTURES.	TASSEMENTS.
...emours. . . .	En arc de cercle.	40m.00	0m.203
...ogent.	En anse de panier.	29 .25	0 .416
...euilly.	*Id.*	39 .00	0 .660
...antes.	*Id.*	39 .00	0 .557
...aint-Sauveur.	*Id.*	23 .38	0 .221
...na.	En arc de cercle.	28 .00	0 .120

...tableau montre qu'aux ponts Saint-Sauveur et d'Iéna le tasse...t a été beaucoup moindre qu'aux ponts construits antérieure...t. Dans les ponts plus récents, par suite de la moindre épaisseur ...joints, qui ne doit jamais dépasser 0m,02, du soin apporté à les ...plir et surtout de la meilleure qualité des mortiers, le tassement ...core été bien moindre ; ainsi au *pont aux Doubles* et au *Petit pont*, ...ont été reconstruits en meulière hourdée en ciment de Vassy, on ...reconnu aucun tassement après le décintrement, malgré la grande ...diesse de ces ponts, qui sont en arc de cercle. Avec les mortiers ...chaux il est impossible sans doute d'obtenir un pareil résultat; ...is leurs qualités permettent cependant de donner à la courbe du ...rc rigoureusement celle du projet, sans l'exhausser au sommet, ...ième de ne pas élever ses naissances, un léger tassement de tout ...semble étant en général de peu d'importance.

Pose des voussoirs. Pour faire cette opération, on commence d'abord ...établir la division des voussoirs, conformément à l'épure, à cha...e des extrémités du cintre, en marquant ces points de division, ...t par des petites encoches sur les couchis, soit en y clouant des ...ntes ; puis, lors de la pose de chaque rang de voussoirs, on trace, ...moyen de règles, sur les couchis, la ligne d'arrase du lit supérieur ...ce rang, en donnant des points intermédiaires avec des *nivelettes*, ...en tendant un cordeau entre les points marqués aux extrémités ...cintre.

...e principe de la non-continuité des joints dans deux assises con...ués doit être rigoureusement observé.

Afin de diriger tous les plans de joints normalement à l'intrados, ...se sert d'une ou de plusieurs fausses équerres levées sur l'épure ...la voûte, et dont l'un des côtés est une certaine longueur de l'arc ...ntrados, tandis que l'autre côté est normal à cet arc. Si l'intrados ...t tracé à plusieurs centres, il faut changer ces fausses équerres ...aque fois qu'on passe d'un arc à l'autre. Au pont Notre-Dame, dont

les voûtes sont en ellipse, ce qui a nécessité un panneau en vie pour chaque assise de voussoirs, on a remplacé les fausses équerres en traçant au chantier, sur la tête de chaque voussoir, une ligne bien apparente qui devait être verticale après la pose du voussoir.

Les voussoirs se posent sur un lit de mortier, sur lequel on les tasse avec un maillet en bois, de manière que l'épaisseur des joints soit uniforme et de un centimètre et demi pour les voûtes de grandes dimensions, et au moins de 8 millimètres pour les petites.

Les deux côtés de la voûte se montent en même temps, d'abord pour que leurs poussées se fassent équilibre sur le cintre et ne le détruisent pas, et ensuite pour que, les mortiers prenant la même consistance des deux côtés, le tassement soit égal. Il convient aussi de ne commencer une nouvelle assise de voussoirs que quand celle inférieure est entièrement posée. Au pont Notre-Dame on s'est écarté de ces prescriptions, ainsi on a commencé par poser sur cales tous les voussoirs en pierre de taille formant les deux têtes, puis on a fiché les joints en ciment de Vassy. Ces deux têtes terminées, on a procédé à la pose des voussoirs intermédiaires, qui sont de forts moellons piqués dont deux assises forment une assise des têtes; comme pour les têtes, on a posé ces moellons sur cales, et on les a fichés en ciment au fur et à mesure, mais de manière à avoir toujours au moins deux assises non fichées, afin de ne pas déranger les voussoirs posés. Une fois le premier rouleau posé sur tout le cintre, on a complété l'épaisseur de la voûte entre les têtes, puis fait le remplissage des reins et établi les chapes en ciment et bitume. On conçoit que par ce mode d'opérer la charge des cintres se trouve bien diminuée et placée progressivement.

La partie la plus délicate de l'exécution d'une voûte est sa *fermeture*, qui doit être faite de manière à limiter, autant que possible, l'abaissement au sommet lors du décintrement, lequel résulte, comme nous l'avons dit, en grande partie de la compression des mortiers. Cette opération se fait de plusieurs manières distinctes, dont la plus communément suivie est celle que nous avons décrite au n° 618.

Quelques constructeurs emploient le moyen suivant, qui consiste, après avoir recouvert d'un lit de mortier les joints des contre-clefs, à suspendre la clef au-dessus de l'espace qu'elle doit occuper au moyen d'une louve et d'une petite chèvre, et à la laisser tomber à sa place en la dirigeant en conséquence; on a soin d'enlever avant la chute le rang de couchis placé sous la clef. Cette opération bien réussie peut donner des résultats satisfaisants; mais elle nous paraît d'une exécution tellement difficile, que nous pensons qu'il est prudent de donner la préférence à la manière d'opérer indiquée au n° 618, ou à la suivante, qui la remplace avec de grands avantages.

Cette troisième méthode consiste à poser à sec sur les cintres les

ıtre-clefs et la clef, en les espaçant avec des cales de manière à erver l'épaisseur des joints, et à ficher ensuite ces derniers avec mortier de ciment, que l'on a soin de ne pas gâcher trop clair; ébranlant légèrement chaque pierre on peut faciliter la pénétran du mortier en tous les points.

Voûtes en petits matériaux. Pour les voûtes en moellons, bries, etc., le mode d'exécution est à peu de choses près le même que ır celles en pierre de taille (618). Les joints ne doivent pas se corpondre dans deux assises voisines, et quand la voûte est en moelıs ou en meulières piqués, ou en briques, il faut tracer les joints ıgitudinaux sur les couchis. L'ouvrier doit poser chaque voussoir le frottant sur les couchis du cintre, afin que son parement de uelle s'y applique bien et qu'il ne reste pas de mortier interposé, trement il en résulterait des balèvres d'un aspect désagréable après décintrement, et que l'on ne pourrait faire disparaître qu'en relllant l'intrados.

La voûte du *pont aux Doubles*, à Paris, a été construite en meulière ourdée en ciment de Vassy; elle a 31 mètres d'ouverture, 3m,10 de che, 1m,30 d'épaisseur à la clef, et 16 mètres de tête en tête. On ı établie en quatre parties éloignées de 1m,00 l'une de l'autre et des ıissances; les cinq intervalles étaient occupés par des encaissements ı bois situés aux naissances, aux reins et à la clef. Les 4 voussoirs ıt d'abord été exécutés ensemble et sur une épaisseur de 1m,00 enron; puis on a enlevé les encaissements et on a rempli simultanéıent tous leurs emplacements avec de la même maçonnerie que pour s voussoirs; on a ensuite complété l'épaisseur de la voûte. Par ce ıoyen, on a évité les ruptures qui ont ordinairement lieu aux naisınces et vers les reins lors de l'exécution des voûtes, et on a obtenu ne voûte composée en quelque sorte d'un seul voussoir. Lors du déintrement, il a été impossible de remarquer aucun abaissement à ı clef, ni la plus légère fissure aux naissances et aux reins. Ce n'est u'après le premier hiver que, par suite de la dilatation et de la conaction dues aux variations de température, on a remarqué un léger ndillement aux naissances.

Au *Petit pont*, qui a les mêmes dimensions que le *pont aux Doubles*, i ce n'est que son ouverture est de 32m,50 en aval et 31 mètres en mont, pour construire la voûte on a commencé par faire un preıier rouleau sur tout le cintre avec des meulières piquées, en laisant un intervalle aux naissances et à la clef. Cette première assise tant posée, on l'a fermée aux naissances et à la clef. On a fait ensuite e complément de l'épaisseur de la voûte, en ne la fermant encore u'en dernier lieu aux naissances et à la clef. Les parties apparentes ont en meulière piquée; sur les têtes, deux voussoirs forment l'éaisseur de la voûte. Au *pont aux Doubles*, toute la maçonnerie a été

couverte de ciment de Vassy, dans lequel on a refouillé des joints pour imiter la pierre de taille. Les parapets de l'un et l'autre de ces ponts sont en belle pierre de taille, et leurs extrados sont, comme les douelles, des surfaces profilées par des arcs de cercle.

Décintrement des voûtes. Avant d'exposer quand et comment on doit effectuer le décintrement des voûtes, nous allons rappeler ce qui se pratiquait et ce qui se fait encore quelquefois en pareil cas.

Des constructeurs professent que la maçonnerie d'une voûte doit être laissée sur cintres un mois ou six semaines, c'est-à-dire jusqu'à ce que le mortier soit sec. Suivant le même système, on enlève successivement les couchis depuis les naissances jusqu'à la clef, en ruinant les cales qui séparent ces couchis des fermes. Quand cette manœuvre devient impraticable, à cause de la grande pression que supportent les derniers couchis, on affaiblit peu à peu, au ciseau, les abouts des arbalétriers, de manière à obtenir un tassement lent et progressif. Dans quelques circonstances, fort rares heureusement, on a ruiné les points d'appui même des fermes, en décintrant ainsi brusquement.

D'autres constructeurs croient qu'il peut être bon d'opérer d'une manière diamétralement opposée.

D'abord il est prouvé maintenant, par de nombreux exemples, que, tant sous le rapport de la stabilité que sous celui du tassement, il n'y a aucun désavantage à décintrer les voûtes presque immédiatement après la pose des clefs; mais, d'un autre côté, sous le rapport des mouvements, imperceptibles ou non, qui s'accomplissent dans la voûte au moment du décintrement, il y a, on n'en saurait douter, tout avantage à ce qu'alors le mortier soit encore dans un état qui lui permette de se comprimer, de se mouler suivant de nouvelles figures, sans que sa désorganisation s'ensuive. Il semble donc qu'*il faut maçonner les voûtes et les décintrer le plus promptement qu'on pourra*, afin d'éviter qu'il y ait quelques portions de mortier complétement prises au moment du décintrement.

En second lieu, tout le monde reconnaît qu'il faut se garder de laisser prendre aux voûtes une certaine vitesse lorsqu'elles s'abaissent au décintrement. L'expérience prouve, en effet, que ces modifications d'équilibre dans les maçonneries, même leur écrasement, même leur renversement, sont loin d'être instantanées, et demandent au contraire, pour s'accomplir, un temps appréciable. Il faut donc que le décintrement soit fait et dirigé de telle manière, que les cintres ne quittent la voûte que par progression insensible et en plusieurs phases séparées par un intervalle de temps notable; il est bon même, en cas d'accident prévu, que ce décintrement puisse être arrêté à un instant donné, de telle sorte que la voûte se retrouve sur ses cintres, comme avant le commencement de l'opération. Or on peut atteindre ce but.

bstituant au procédé de décintrement ci-dessus rappelé le sui- qui est goûté par beaucoup de praticiens.

aque ferme du cintre n'étant maintenue qu'à ses deux extrémités es coins doubles, à petit angle, on lui imprime un mouvement modéré qu'on veut, soit d'abaissement vertical, soit d'écarte- t horizontal, en faisant glisser l'un sur l'autre les deux coins même paire. Il suffit souvent, pour la manœuvre dont il s'agit, lacer à chaque pied de ferme un ouvrier, muni d'une cognée de pentier ou d'un têtu de tailleur de pierre, qui frappe à petits s sur le coin inférieur de la paire portant sur la semelle traî- e. Quelquefois on éprouve de grandes difficultés pour faire er ce coin, à cause du poids considérable qui agit dessus ; il ar- même assez souvent, lorsque ce coin est un peu desserré, que pression le lance avec force jusqu'au pied-droit opposé : les riers doivent toujours se placer de manière que, ce cas arrivant, ie puissent être atteints. Le constructeur doit diriger l'opération voir l'œil sur les ouvriers, afin qu'ils agissent tous, autant que sible, d'une manière identique. Dans les premiers instants, et ique l'abaissement des fermes soit accusé par le mouvement des s, l'effet du décintrement de la voûte n'est pas visible, parce que t l'espace rendu libre est successivement occupé en vertu de la ction d'élasticité des bois, dont la compression décroît graduelle- nt; en un mot, le cintre quitte la voûte comme un ressort qui se ande lentement. Lorsqu'une fois il s'est fait un jour continu entre trados et la nappe des couchis, on peut enlever complétement les ns et ensuite les couchis ; mais il vaut mieux différer d'un jour ou ıx pour attendre les effets du tassement, lesquels peuvent très-bien se révéler qu'après ce délai.

Quelle que soit l'ouverture de la voûte, le mode de décintrement on vient de décrire reste applicable.

Le système de coins a été remplacé avantageusement par plusieurs nstructeurs français, pour des voûtes de ponts, par des sacs de te toile remplis de sable bien tassé, et dont l'ouverture est cousue ec du fil très-fort ou seulement ficelée. Ces sacs se placent aux êmes endroits que les coins dans le mode précédent, et ils résistent en à l'effort considérable de compression auquel ils sont soumis. uand on veut décintrer, on pratique une ouverture à l'extrémité de acun des sacs, lesquels se vident alors lentement, et on peut activer coulement du sable en le remuant avec une tige de bois ou de fer. e moyen simple et économique, fournit un décintrement facile, ex- essivement régulier, sans aucune secousse.

Aujourd'hui on remplace ordinairement les sacs par des boîtes en ois ou en tôle, imaginées par M. Bouziat, conducteur des ponts et aussées. Au pont Saint-Michel, les seize fermes étaient espacées de

2m,03 d'axe en axe, et chacune reposait sur quatre boîtes en tôle remplies de sable. Ces boîtes étaient des cylindres en tôle de 0m,30 de diamètre sur autant de hauteur, ouverts par le haut et fermés par le bas au moyen d'un disque en bois de 0m,02 d'épaisseur qui y entrait exactement. Le cintre reposait sur le sable par l'intermédiaire d'un piston en bois de 0m,28 de diamètre et de 0m,25 de hauteur, qui pénétrait dans le cylindre au fur et à mesure qu'il se vidait. Quatre bouchons fixés au bas de chaque cylindre permettaient de faire couler le sable, ce qu'un homme placé à chaque retombée du cintre facilitait au moyen d'une pointe en fil de fer. Des bandes horizontales rouges, blanches et noires, marquées sur les pistons, et larges de 0m,01, permettaient de rendre la descente des cintres aussi régulière que possible. Le sable s'écoule d'autant mieux qu'il est plus sec; aussi convient-il que la pluie ne puisse venir le mouiller en pénétrant par le jeu de 1 centimètre qui sépare sur tout le pourtour le piston du cylindre. Un temps sec est aussi préférable à un temps pluvieux et glacial pour opérer le décintrement. Il est important que le sable, en s'écoulant, s'amoncèle sur une petite plate-forme servant de base à la boîte; il y forme des petits cônes qui arrêtent l'écoulement dès qu'ils arrivent à la hauteur des trous, et cela permet à un homme de gouverner plusieurs boîtes, en enlevant successivement les petits cônes.

Le prix total d'une boîte a été de 12 francs, dont 4 francs pour la tôle, 4 francs pour le piston cylindrique, 3 fr. 25 c. pour deux plateformes en bois de chêne de 0m,35 de côté, l'une servant de tête au piston, et l'autre de base à la boîte; c'est sur les angles de cette base que se formaient les cônes de sable; et, enfin, 75 centimes pour le sable, les bouchons en liége et le remplissage.

M. Dupuit, inspecteur des ponts et chaussées, et M. Meyer ont fait usage, pour décintrer les 14 arches des Ponts-de-Cé, de verrins placés à côté des coins. Ayant tourné l'écrou de manière à soulever le cintre, on chasse avec facilité les coins, et le cintre ne reposant plus que sur les verrins, il est descendu d'un mouvement qu'on peut maîtriser complétement depuis le commencement jusqu'à la fin de l'opération. L'écrou est fileté à droite sur la moitié de sa longueur et à gauche sur l'autre moitié, et dans chacune de ces moitiés pénètre une vis à filets carrés de 0m,055 de diamètre extérieur et de 0m,045 à l'intérieur des filets. En tournant l'écrou, les deux vis y pénètrent simultanément, ou elles en sortent; la course est de 0m,08 pour chaque vis. Les 12 verrins employés ont coûté 903 fr. Les arches avaient 25 mètres d'ouverture, et MM. Dupuit et Meyer pensent que les verrins employés sont assez puissants pour être appliqués à des arches de plus grande portée.

705. *Reconstruction du pont Notre-Dame, à Paris.* Cette reconstruc-

qui s'est faite en quelques mois, a fixé l'attention de tout Paris ncipalement des connaisseurs, tant par le mode que par la té d'exécution (Ingénieurs MM. Michal et Darcel, constructeur ciel).

s avons déjà exposé le mode de construction de la voûte de ce 704). Pour tracer le profil des voûtes qui a servi à decouper les aux en volige nécessaires à la taille des voussoirs, on a tracé ipses d'intrados et d'extrados à l'aide d'une grande règle sur des arêtes de laquelle, à partir d'un même point, on a porté le et le grand axe (*Int.*, 1067). Les axes des ellipses d'extrados et ados coïncident; mais comme la longueur du grand axe de l'el- d'intrados n'était pas donnée, pour l'obtenir, du point fixé ie naissance de l'arc d'extrados, comme centre, avec un rayon au petit axe, on a décrit un arc de cercle coupant le grand axe i point; on a joint par une droite ce point à celui de naissance xtrados, et la longueur de cette droite prolongée jusqu'à sa ren- e avec le petit axe a été la longueur du grand axe. Ayant les axes llipses, on a déterminé les foyers (*Int.*, 1052).

a pris pour directions des plans de joints des moyennes entre ormales aux courbes d'intrados et d'extrados, moyennes que l'on tenues assez exactement pour la pratique en menant les rayons eurs de l'ellipse d'intrados à des foyers fictifs également distants oyers d'intrados et d'extrados, et en menant les bissectrices des es formés par ces rayons vecteurs (*Int.*, 1071).

qui suit est extrait du cahier des charges :

nensions. Le pont sera formé de 5 arches ayant 18m,76 de largeur sur 7m,50 de pour celle du milieu : 18m,20 de largeur sur 7m,39 de flèche pour les voisines, et 67 de largeur sur 7m,28 de flèche pour les arches extrêmes; de telle sorte que les ances étant à 2 mètres en contre-haut de l'étiage amont du pont, fixé à la cote 65; les clefs seront établies sur deux lignes inclinées à 0m,005 pour mètre à partir lle de l'arche du milieu.

aque voûte aura 0m,90 d'épaisseur à la clef, et ira en s'élargissant de manière à 1m,40 d'épaisseur à la rencontre de l'extrados avec le plan d'arasement des ma- eries de remplissage des piles, établi à la cote 68m,25.

xtrados sera revêtu d'une chape en ciment, recouverte d'une seconde en bitume, laquelle seront pris des tuyaux pour dégorger les eaux qui pourront s'infiltrer à rs la chaussée.

s piles auront 3m,50 d'épaisseur aux naissances et un fruit de 1/35. Les becs se- demi circulaires.

s têtes des voûtes feront une saillie de 0m,05 sur les parements des tympans; cha- ssise sera marquée par des refends de 0m,05 de largeur et autant de profondeur; sera de même des maçonneries de pierre de taille des becs. Les maçonneries des formeront également une saillie de 0m,05 sur la douelle de la voûte, avec laquelle se relieront par un appareil de carreaux et boutisses ayant alternativement 0m,80 ,10 de longueur.

s tympans, de 1 mètre d'épaisseur, seront arasés suivant les lignes formées par le net de l'extrados des voûtes; ils présenteront au-dessus de chaque pile un pilastre ant saillie de 0m,15 sur le parement général.

la fabrication des mortiers. Les hydrates qui auraient durci avant leur emploi, ou qui contiendraient des parties lentes, mal éteintes, ou des incuits, seront rejetés.

8° Le *mortier* sera composé de $0^{m},33$ de chaux en pâte pour 1 mètre de sable (2). Le dosage se fera dans les bassins d'extinction, de forme rectangulaire à plancher horizontal, ou par toute autre méthode prescrite par l'ingénieur.

Le mortier sera fabriqué à force de bras, avec des rabots. On commencera par réduire, sans addition d'eau, la chaux en bouillie par la macération ; on incorporera ensuite le sable par parties, et le mélange sera brassé jusqu'à ce que la pâte soit lisse et ductile.

Le mortier sera employé immédiatement après sa fabrication ; celui qui aurait durci sur l'aire serait rejeté.

9° Le *béton* sera composé de 3 parties de mortier pour 5 parties de pierres cassées ou de gravier (603) ; chaque pierre devra passer au travers d'un anneau de $0^{m},06$ de diamètre, et avoir plus de $0^{m},02$ dans sa petite dimension ; les pierrailles seront lavées avant leur emploi.

10° Le *ciment* proviendra des usines de Vassy (597). Il sera ou conservé dans les futailles à l'abri de la pluie et de l'humidité, ou en tas sous des hangars clos très-hermétiquement. Dans ce dernier cas, le ciment arrivera directement de l'usine par chemin de fer, dans des sacs en toile.

Le ciment ne sera incorporé aux mortiers et bétons qu'après le complet corroyage de ces derniers et au moment de l'emploi.

Le mortier de ciment sera composé suivant les indications de la série des prix. Le dosage des parties composantes se fera au volume. Le mortier sera gâché dans des auges, par parties et avec la plus petite quantité d'eau possible. Celui qui s'échaufferait avant l'emploi serait rejeté.

11° Tous les *bois en charpente pour fondations* seront en chêne neuf de premier choix, sans pourriture ni nœuds vicieux ; ils ne seront point échauffés, gras, gelifs, ni tranchés dans leurs fils.

Les pieux seront en grume ou carrés, suivant les ordres qui seront donnés à l'entrepreneur ; ils seront parfaitement droits, et ne pourront avoir de flache de plus de $0^{m},10$, mesurée sur le pan coupé s'ils sont carrés ; s'ils sont ronds, ils seront dégarnis de leur écorce, et les nœuds seront proprement coupés à la cognée. L'équarrissage moyen des pieux ne pourra dépasser les dimensions indiquées à l'entrepreneur ; mais il sera toléré sur chaque pieu 3 centimètres en plus ou en moins desdites dimensions.

Les pieux seront armés d'un sabot en fer fixé avec des clous, et ils seront disposés pour recevoir une frette en fer.

Les palplanches, comme les pieux, seront d'un bout appointées et armées d'un sabot en fer, et de l'autre disposées pour recevoir une frette ; leurs bords seront sans flaches et dressés à la besaiguë. La différence de largeur d'une même palplanche, à ses deux extrémités, ne pourra excéder 3 centimètres.

Les moises, ventrières, chapeaux ou longrines de plancher ne seront pas refaits sur les faces ; cependant elles seront parfaitement droites et équarries, et il ne sera souffert aucune flache de plus de $0^{m},05$, mesurée sur le pan coupé. Chaque pièce de bois devra relier au moins trois pieux, et ne pourra s'assembler à la suivante dans l'intervalle ; les joints de deux pièces voisines ne pourront correspondre au même pieu.

Les *bois pour charpentes provisoires* seront en chêne ou en sapin, suivant les ordres donnés à l'entrepreneur. Ils seront parfaitement travaillés et ne pourront avoir de flaches de plus de $0^{m},05$, mesurées sur le pan coupé. Les chapeaux, les moises et les contre-fiches seront d'une seule pièce dans toute leur longueur.

12° La *fonte* sera douce, grise et parfaitement moulée, sans soufflures ni fontes de retrait.

Le *fer* sera de qualité dite de roche ; il ne sera ni aigre ni cassant, mais nerveux et malléable ; il sera travaillé sans brûlures, pailles ni gerçures.

13° Le *bitume* des chapes et trottoirs sera composé de roche calcaire asphaltique de Seyssel ou du Val-de-Travers (*art.* 83), réduite en poudre par une demi-calcination, et

ic ou goudron minéral de Bastennes ou de Lobsann. Ces matières seront com- pour les chapes, d'une partie de sable de rivière passé à la claie et de trois de matières asphaltiques, et pour les trottoirs, de trois parties de mastic pour sable.

le bitume en réfection, l'entrepreneur ajoutera les matières qu'exigera le ré- des vieux enduits.

chapes auront 0^m,012 d'épaisseur, et les trottoirs 0^m,015.

3. Ponts d'Austerlitz, des Invalides et de l'Alma, à Paris.

'ont d'Austerlitz. On a remplacé les anciens arceaux en fonte par des voûtes en nerie, mais on a conservé les anciennes piles, en les allongeant de manière à la longueur des arches à 17 mètres entre les têtes. Ce qui suit est extrait du des charges (on a supprimé ce qui ne serait que la répétition de ce qui a déjà au n° précédent).

piles seront allongées à chaque extrémité, de manière à pouvoir recevoir fran- nt des arches; elles seront terminées par des avant et arrière-becs circulaires de de rayon. Les allongements seront établis sur les empatements des piles.

paisseur actuelle 8 mètres des *culées* sera portée à 13 mètres; la maçonnerie, de ère et ciment, reposera sur un grillage soutenu par des pieux de 5 mètres de lon- espacés de 1 mètre d'axe en axe.

uverture de chacune des 5 *arches* est de 32^m,50, et la flèche variera entre le 1/8 10/66 de l'ouverture. Les naissances seront placées à 5^m,40 au-dessus de l'étiage. aque arche sera formée d'une voûte en maçonnerie de meulière et ciment de de 1^m,20 d'épaisseur uniforme, terminée aux têtes par un appareil en pierre de de Bourgogne ayant 1^m,20 à la clef, 2 mètres aux naissances et 1 mètre de te moyenne.

es têtes, de 69 voussoirs de 0^m,50 en douelle, feront saillie de 0^m,05 sur les pare- ts des tympans, et seront à joints refouillés de 0^m,05 de largeur et 0^m,05 de pro- eur. En douelle, les assises de meulière smillée apparentes se raccorderont avec voussoirs de tête.

s *tympans* seront en pierre de taille de Vergelet. A l'intérieur, les maçonneries se- évidées au moyen de voûtes longitudinales ayant 0^m,50 d'épaisseur uniforme à la 0^m,60 de pieds-droits et 0^m,90 à l'intérieur. Il y aura ainsi 6 voûtes, dont 4 sous haussée et une sous chaque trottoir.

outes les maçonneries des arches seront recouvertes d'une *chape* en ciment de 0^m,03 aisseur, ainsi que les parois verticales des galeries ménagées pour le service des . Il sera fait un enduit bitumineux de 0^m,013 d'épaisseur dans toutes les parties inées à recevoir des eaux.

es *cintres* pour la reconstruction se composeront de 8 fermes également espacées ^{m},10. Chaque ferme reposera sur des palées formées de deux cours de pieux pen- es et sur les retraites des maçonneries des piles; ces fermes seront composées de tre-fiches de 0^m,30 sur 0^m,30, réunies par des cours de moises horizontales de 0^m,30 hauteur sur 0^m,20. Les fermes seront reliées entre elles par 20 pièces horizontales ^{m},30 sur 0^m,20.

es couchis auront au moins 0^m,20 d'épaisseur; ils seront parfaitement dressés, et senteront une surface cylindrique régulière. Ces couchis seront recouverts, dans la tie faite en meulière, d'une seconde rangée de couchis de 0^m,06 d'épaisseur, de nière que la douelle soit de 0^m,05 en retraite sur les têtes en pierre de taille.

e décintrement s'opérera au moyen de boîtes remplies de sable.

a *pierre de taille dure* sera de la qualité dite de roche; elle proviendra : 1° des car- res de Pierrechèvre, près Châtillon-sur-Seine (banc gris); 2° des carrières de La- sine.

Les *pierres de taille tendres* seront de Vergelet ou de Saint-Leu.

I ne pourra être employé que de la chaux hydraulique artificielle des Moulineaux.

Le béton durci avant son emploi sera rejeté.

Le ciment pour enduit de parements vus proviendra de Vassy. Le ciment de Pouilly portant la marque *Lacordaire et Mantion* pourra être employé pour maçonnerie.

2° *Pont des Invalides*, remplaçant l'ancien pont suspendu.

Le pont sera formé de 4 arches ayant, celles de rives, $31^{m},90$ d'ouverture sur $7^{m},1$[illegible] de flèche, et les deux du milieu $31^{m},63$ d'ouverture sur $4^{m},20$ de flèche ; de telle sorte que les naissances étant à $5^{m},10$ au-dessus de l'étiage, c'est-à-dire à la cote $71^{m},5$[illegible] du nivellement général de Paris, les clefs des arches seront établies suivant deux lignes inclinées à $0^{m},022$ par mètre.

Les voûtes, de 14 mètres de longueur, auront $1^{m},20$ à la clef et leur épaisseur ira en augmentant jusqu'aux naissances, où elle sera de $1^{m},80$. Elles seront recouvertes d'une chape en ciment de $0^{m},03$ d'épaisseur, dans laquelle seront engagés des tuyaux pour dégorger les eaux qui pourraient s'infiltrer à travers la chaussée.

On fera servir les deux anciennes piles. La pile neuve sera fondée sur six rangées de pieux espacés de $1^{m},20$ d'axe en axe. Deux autres piles les entoureront à la distance de $1^{m},50$ et formeront crèche. Les interstices laissés entre les pieux seront remplis d'enrochements, depuis $4^{m},50$ jusqu'à 2 mètres au-dessous de l'étiage; au-dessus sera un massif de béton de 1 mètre. Les pieux, recépés à la même hauteur, seront surmontés de chapeaux et de longrines ayant ensemble $0^{m},38$ d'épaisseur. Sur ce plancher s'appuieront les maçonneries, qui présenteront un double socle, le 1er de 6 mètres de largeur, le second de $5^{m},50$ s'élevant à $0^{m},08$ au-dessus de l'étiage, à partir de ce point sera la pile ayant 5 mètres à sa base et $4^{m},55$ au sommet.

A partir de chaque extrémité du pont, la chaussée aura une rampe de $0^{m},022$ par mètre jusqu'au sommet de la 2e arche, et se raccordera par un arc de parabole avec le sommet de la 3e arche. Le profil en travers présentera une chaussée de 8 mètres de largeur courbée au 80e, ayant $0^{m},35$ d'épaisseur au sommet, $0^{m},25$ sur les côtés, et bordée de deux trottoirs de 3 mètres de largeur, faisant saillie de $0^{m},17$ sur la chaussée et ayant une pente en travers de $0^{m},03$ par mètre.

Les cintres seront ceux du pont d'Austerlitz.

3° *Pont de l'Alma.* Le pont est composé de 3 arches : celles des rives ayant $38^{m},51$ d'ouverture sur $7^{m},90$ de flèche, et celle du milieu 43 mètres sur $8^{m},60$ de flèche.

La forme des arcs est une ellipse. Le corps des voûtes a $1^{m},50$ à la clef et va en s'élargissant jusqu'à 2 mètres à son intersection avec le plan formant le dessus des piles. Les têtes du pont sont allégées par des voussures engendrées par une ligne s'appuyant sur un arc de cercle tangent à l'ellipse au sommet (cet arc ayant, pour les arches de rives, $38^{m}.88$ de corde sur $3^{m},888$ de flèche; pour l'arche du milieu, $43^{m},88$ de corde sur $4^{m},80$ de flèche), et sur la ligne formant l'intersection du cylindre elliptique de douelle et du plan vertical passant à zéro au sommet, et à $2^{m},50$ en arrière des têtes aux naissances. Cette ligne génératrice reste toujours dans un plan normal à la douelle. Au-dessus de la voussure, la tête du pont a $1^{m},30$ au sommet et 2 mètres aux naissances. La largeur entre les têtes est de $20^{m},60$.

Les divers travaux ont été exécutés de la manière suivante :

Les *piles et les culées*, le parement en pierre de taille et mortier de ciment, l'intérieur en maçonnerie de moellons bruts et mortier de ciment;

Les *cordons des piles et culées, ainsi que les têtes des voûtes et les voussoirs*, en maçonnerie de pierre de taille de Bourgogne et d'Euville (Lorraine), sans que les deux natures de pierre aient été mélangées sur la même tête, et le tout fiché en mortier de ciment;

Les *tympans*, les parements en pierre de taille de Vergelet, l'intérieur en maçonnerie de moellons bruts et mortier hydraulique;

La *corniche et les dés du parapet*, en pierre d'Euville et de Sauvigny;

Les *voûtes*, en maçonnerie de meulière de la haute Seine et mortier de ciment, la douelle étant en meulière piquée de Buch formant appareil avec les têtes;

Les *chapes* sont en mortier de ciment; les voûtes des galeries sous les trottoirs sont en briques et ciment; elles ont $0^{m},11$ d'épaisseur.

. *Projet de démolition et de reconstruction du pont au Change, tification de l'alignement d'une partie du mur du quai de l'Hor- t des murs des quais Desaix et de Gèvres.* (Ingénieurs, MM. de Lisserie et Vaudrey ; constructeurs, MM. Gariel et Garnuchot).

DEVIS.

CHAPITRE Ier. — *Description et dimensions des ouvrages à exécuter.*

rages à exécuter. Les *ouvrages à exécuter* consistent dans :
.a démolition du pont au Change après construction d'une passerelle provisoire es piétons ;
La reconstruction du pont ;
La rectification de l'alignement d'une partie du mur du quai de l'Horloge et des des quais Desaix et de Gèvres ; toutefois la reconstruction du mur du quai de s avec suppression des cagnards est soumise à une décision de l'administration.

r. 1er. *Passerelle provisoire.* La passerelle à exécuter pour le service des piétons ant la durée des travaux sera établie en amont du pont au Change, elle aura une ieur totale de 108m.75 et 3 mètres de largeur dans œuvre ; elle reposera sur les des quais Desaix et de Gèvres et sur deux doubles palées de 10 pieux chacune, is en rivière, à 15 mètres en amont des deux piles neuves. Les pieux des doubles s seront en chêne ; ils seront reliés entre eux au moyen de chapeaux et de moises iant croix de St-André ; ils seront protégés contre les glaces au moyen de pattes e.

a passerelle sera composée de deux fermes américaines ayant chacune 3m,50 de teur ; ces fermes se continueront sans interruption d'une rive à l'autre, les moises ces fermes auront 0m,20 sur 0m,40 d'équarrissage ; l'assemblage bout à bout des es formant chaque moise sera fait au moyen d'un trait de Jupiter et de deux ers en fer forgé dans une même ferme, la distance horizontale des joints des moises de 4 mètres au minimum.

.es croisillons des fermes auront 0m,22 sur 0m,08 d'équarrissage ; ils seront d'une le pièce, ils seront tous reliés deux à deux avec les moises au moyen de boulons de 02 de diamètre, ils seront reliés entre eux à chaque point de croisement au moyen de ulons de 0m,01 de diamètre.

.'ensemble du pont sera relié à chaque appui par deux cadres de charpente verticaux l y seront fixés, les extrémités seront solidement amarrées au moyen de chapeaux et grands boulons scellés dans les murs de quai.

Les poutrelles du plancher auront 4 mètres de longueur et 0m,08 sur 0m,22 d'équarrissage ; ces poutrelles reposeront sur les moises inférieures des fermes, la passerelle a contreventée haut et bas au moyen d'étais horizontaux, de grands boulons et de ix de St-André.

Le plancher sera double, la partie inférieure sera formée de madriers de 0m,06 d'épaisur, de 0m,20 de largeur, espacés entre eux tant plein que vide ; ces madriers auront moins 3 mètres de longueur, ils seront fixés sur chaque poutrelle au moyen de ux forts clous ; les assemblages bout à bout des madriers auront toujours lieu sur une utrelle, ces joints seront contrariés et il n'y en aura jamais plus de deux sur la même utrelle.

Le platelage supérieur sera disposé perpendiculairement à l'axe de la passerelle, il ra formé de planches jointives et clouées de 0m,03 d'épaisseur. Tant qu'existera la sserelle, elle sera entretenue en bon état aux frais de l'entrepreneur, le prix de locaon comprend tous les frais d'entretien, même des planchers.

Les bois employés à la construction de la passerelle seront en sapin du Nord, à

l'exception des pieux et des chapeaux qui seront en chêne, les bois, les fers et les tôles seront payés en location.

ART. 2. *Démolition du pont.* La démolition du pont comprend les parapets, les trottoirs, la chaussée, les six arches, les cinq piles; elle comprend en outre le parement de la culée gauche, celui de la pile du cagnard.

Les dragages et démolitions sous l'eau seront faits en régie, toutefois l'entrepreneur devra exécuter les déblais et les démolitions qui pourront être faits par épuisement et cela sans aucune plus-value.

Les cintres en charpente pour la démolition seront exécutés conformément aux dessins remis à l'entrepreneur, ils seront composés pour chaque arche de 17 fermes distantes de deux mètres d'axe en axe. Chaque ferme sera formée d'une poutre armée à l'américaine, encastrée dans les maçonneries ou scellée sur les avant-becs à 6 mètres au-dessus de l'étiage, les vaux seront soutenus par les poteaux des poutres et par des pièces de décharge boulonnées.

Les croisillons de chaque poutre seront tous boulonnés entre eux et avec les moises horizontales, les fermes seront entretoisées au moyen de deux moises doubles, et contreventées par des pièces inclinées boulonnées aux trois poteaux du milieu. Les couchis seront jointifs; il seront établis à partir de six mètres au-dessus de l'étiage, ils auront $0^{m},12$ d'épaisseur. Les vaux seront taillés en courbe à la partie supérieure parallèlement à la courbe d'intrados; les boulons auront $0^{m},02$ de diamètre.

Tous les bois formant les cintres de démolition seront en sapin du Nord.

ART. 3. *Description et dimensions du nouveau pont.* Les faces intérieures du parapet du nouveau pont seront dans le prolongement des alignements du boulevard de Sébastopol, le pont aura par suite 30 mètres de largeur entre les parapets; il sera formé de trois arches. Les arcs seront des demi-ellipses, les naissances seront à $1^{m},30$ au-dessus du plan d'étiage qui est établi à la cote 76 mètres; les dimensions des arcs seront de $30^{m},45$, et celles des flèches, $7^{m},40$ pour l'arche de gauche, 8 mètres pour celle du milieu et $7^{m},60$ pour celle de droite.

Dans le cas où le mur du quai de Gèvres serait reconstruit, les arcs des arches de droite et du milieu auraient $31^{m},60$ d'ouverture, pour l'arche gauche l'ouverture de l'arc de tête aval serait de $31^{m},60$ et celle de la tête amont de 32 mètres; les flèches seraient les mêmes que celles indiquées ci-dessus.

ART. 4. *Voûtes.* Les voûtes auront un mètre d'épaisseur à la clef et $1^{m},30$ d'épaisseur à la hauteur des chaperons de la pile; elles seront enduites d'une chape en mortier de ciment de Portland de $0^{m},03$ d'épaisseur.

ART. 5. *Piles et culées.* Les piles auront 4 mètres de largeur au niveau des naissances, elles seront fondées à 4 mètres en contre-bas de l'étiage, elles seront formées d'un massif en béton coulé dans un caisson sans fond en charpente, ayant la forme d'un tronc de pyramide quadrangulaire de $7^{m},60$ de largeur à la base inférieure et $5^{m},30$ à la base supérieure. Le béton sera arasé à $0^{m},50$ en contre-bas de l'étiage, la maçonnerie de la pile aura $4^{m},66$ de largeur au niveau du béton et à sa retraite $4^{m},26$ à $0^{m},10$ en contre-bas de l'étiage, le dessus des piles sera arasé à $5^{m},70$ au-dessus de l'étiage et se raccordera au moyen de parties courbes avec l'extrados des voûtes.

La partie de culée qui sera construite en avant de la culée gauche avec laquelle elle se reliera, sera fondée sur le banc de gravier, au moyen de béton, d'une enceinte en pieux et palplanches et d'un batardeau; la reconstruction de la culée droite est subordonnée à la suppression des cagnards; dans ce cas, la maçonnerie de la nouvelle culée sera fondée sur le béton et reliée avec le massif de la culée de la voûte du cagnard. Le massif de la nouvelle culée aura 7 mètres d'épaisseur à la hauteur des naissances, et se réduira à une épaisseur de 2 mètres à $9^{m},68$ au-dessus de l'étiage.

ART. 6. *Avant-becs et douelles.* A $5^{m},10$ au-dessus de l'étiage, les avant-becs des piles seront couronnés d'une corniche surmontée d'un demi-cône de $0^{m},60$ de hauteur.

Les pierres de têtes, les assises des avant-becs et des piles seront accusées par des refends de $0^{m},05$ de largeur sur $0^{m},03$ de profondeur, les joints verticaux des pierres des assises des tours rondes des becs des piles correspondront au milieu de la longueur de

re de l'assise inférieure, la douelle formera appareil à carreaux et boutisses de et de $1^m,40$ de queue, le reste de la douelle de la voûte sera en maçonnerie de moeiqués disposés de telle sorte que deux assises correspondent à une assise des Les têtes des voûtes seront extradossées à la même hauteur que les voûtes elles-, elles formeront une saillie de $0^m,05$ tant sur les parements des tympans que douelles.

. 7. *Tympans.* Les tympans surmontant les têtes seront arasés suivant deux droites tangentes aux arcs d'extrados, des médaillons décorés et formant saillie es tympans surmonteront les piles. Les assises des tympans correspondront ment aux assises des pierres des médaillons.

. 8. *Corniches et parapets.* Les corniches auront $0^m,80$ de hauteur et $0^m,75$ de , elles seront décorées de modillons.

parapets feront l'objet d'une adjudication spéciale, ils ne font pas partie de l'ense.

r. 9. *Galeries sous les trottoirs.* Il sera ménagé sous chaque trottoir du pont, galeries de $1^m,40$ de largeur sur $0^m,60$ de hauteur, qui se raccorderont avec les les galeries des conduites du service municipal; ces galeries sous trottoirs seront ertes directement par les dalles des trottoirs, leurs parois seront revêtues d'un ende mortier de ciment de $0^m,03$ d'épaisseur.

rt. 10. *Trottoirs.* Les trottoirs du pont auront six mètres de largeur, ils seront posés d'une bordure en granit de $0^m,30$ de largeur sur $0^m,30$ de hauteur et d'un ge en granit de $0^m,11$ d'épaisseur appareillé régulièrement et uniformément, de ière à former la couverture des galeries. Les dalles reposeront sur les maçonneries $0^m,10$ de longueur au minimum, les joints formeront liaison les uns sur les autres $0^m,20$ au minimum, les dalles auront toutes $0^m,60$ de largeur, les raccordements angles du pont se feront au moyen de bordures dites circulaires de $3^m,50$ de rayon.

rt. 11. *Chaussée.* La chaussée aura 18 mètres de largeur, elle présentera un bomnent total de $0^m,20$, elle sera formée d'un empierrement bordé de chaque côté par un iveau pavé de $0^m,60$ de largeur.

L'empierrement aura $0^m,30$ d'épaisseur, il sera formé d'une couche supérieure de 10 d'épaisseur en meulière cassée, la couche inférieure sera en cailloux siliceux.

Art. 12. *Caissons en charpente.* Les caissons à base rectangulaire, destinés à former nveloppe du massif de béton des piles auront leurs parois inclinées suivant un fruit n cinquième, ils seront formés de montants de $0^m,16$ d'équarrissage, espacés de nètres d'axe en axe, reliés par trois cours de moises horizontales doubles et entaillées, tre lesquelles après l'immersion de l'ossature du caisson, on fera glisser des palnches formées en madriers de sapin de $0^m,08$ d'épaisseur qui achèveront de former nveloppe; les parois s'élèveront à $1^m,30$ au-dessus de l'étiage, afin de permettre de availler aux piles avec une hauteur d'eau ordinaire; de plus, entre les deux cours de oises supérieures et au-dessus de la moise supérieure, si cela est nécessaire, on étaira à l'intérieur un bordage en planches de sapin de Lorraine de $0^m,034$ d'épaisseur, ées sur les poteaux montants au moyen de forts clous à bateau et parfaitement calées; ce bordage est destiné à former batardeau afin que l'on puisse épuiser sur béton pour poser le socle et les premières assises en maçonnerie des piles; le dessus u second cours de moises sera à $1^m,40$ en contre-bas de l'étiage.

Le caisson après avoir été assemblé une première fois sur le chantier, sera démonté transporté sur de forts bateaux et des échafaudages établis de part et d'autre de l'emlacement de la fondation qui aura été dragué préalablement; on assemblera les monnts et les deux cours de moises inférieures, on mesurera la profondeur exacte du sol l'aplomb de chacun des montants, on recépera à cette longueur les montants laissés cet effet un peu plus longs, puis on immergera jusqu'à la seconde moise la partie ssemblée; le levage et l'immersion seront faits au moyen de seize grandes chèvres; on osera le dernier cours de moises, on construira et calfatera avec soin le bordage de la artie supérieure, on achèvera ensuite d'immerger le caisson, jusqu'à ce que les monants viennent porter sur le fond de la fouille, puis on le placera de telle sorte que les

axes du caisson, tracés sur la moise supérieure, viennent coïncider exactement avec les axes du pont et de la pile, avant l'immersion complète du béton, en étrésillonnant intérieurement les parois du caisson au moyen de quatre croix de St-André équidistantes portant sur la partie supérieure de la moise inférieure, et sur la partie inférieure de la moise supérieure, un grand boulon à la partie inférieure et un étrésillon à la partie supérieure compléteront ces armatures, qui ont pour objet de s'opposer à la déformation du caisson.

Dès que le caisson sera bien en place, on se hâtera de glisser les palplanches qui seront affûtées à leur extrémité, et de les battre à la masse pour les bien assurer sur le fond; on les fixera ensuite définitivement sur la moise supérieure au moyen de coins en bois.

Les palplanches laisseront entre elles un vide de 0m,04 que l'on obtiendra en clouant préalablement de petits tasseaux contre leur tranche; lorsque la pose des palplanches sera terminée, on formera autour du caisson un léger enrochement pour le maintenir exactement dans la position qu'il doit occuper. Les poteaux montants et les cours de moises inférieures seront en chêne refait; le cours de moise supérieure sera en sapin refait et payé en location.

Art. 13. *Cintres de reconstruction.* Les cintres de reconstruction seront conformes aux dessins remis à l'entrepreneur, ils seront composés pour chaque arche de 16 fermes équidistantes, les appareils de décintrement seront posés à 4 mètres au-dessus de l'étiage.

Chaque ferme sera soutenue par 6 pieux, les vaux seront portés par des poteaux et des décharges.

Les deux pieux du milieu seront couronnés par un cours de semelles, les quatre autres seront couronnés par deux cours de semelles placés d'équerre, l'un sur l'autre; les pieux d'une même rangée seront reliés entre eux par des pièces en croix boulonnées.

Les vaux, les poteaux et les décharges seront assemblés à tenons et mortaises.

Les pieux, les poteaux, les semelles et les vaux des cintres seront seuls en chêne, toutes les autres pièces seront en sapin du Nord.

Les vaux seront taillés en courbe à la partie supérieure parallèlement à l'intrados de la nouvelle voûte.

Les couchis auront 0m,20 d'épaisseur, ils seront recouverts d'un platelage parfaitement dressé suivant la courbe d'intrados. Les boulons auront 0m,02 de diamètre, les trois arches seront cintrées en même temps.

Art. 14. *Alignement des murs des quais de la rive gauche, le pont Notre-Dame et a place du Harlay.* Le mur des quais de la rive gauche sera avancé en rivière entre le pont Notre-Dame et la place du Harlay, de manière à donner au quai une largeur de 9m,50 devant la tour de César.

Les différents alignements du mur du quai de l'Horloge seront parallèles aux alignements de la façade du palais de justice. Le quai Desaix sera reconstruit suivant une ligne droite joignant l'angle aval du pont Notre-Dame à l'angle aval du pont au Change.

Dans le cas où la reconstruction du mur du quai de Gèvres serait ordonnée, le mur serait rétabli suivant une ligne droite joignant l'angle amont du pont Notre-Dame à l'angle aval du pont au Change avec le mur du quai de la Mégisserie.

Les nouveaux murs à construire seront fondés sur béton avec une ligne de pieux et palplanches en avant.

Les parements des anciens murs seront démolis. Les parements des nouveaux murs seront en pierre de taille; les remplissages derrière seront en maçonnerie de moellons et de mortier de chaux hydraulique.

Art. 15. *Raccordements aux abords.* Le quai de la Mégisserie et les ouvrages qui en dépendent seront reliés aux abords du pont de manière à se raccorder avec le pont.

Art. 16. *Matériaux employés.* Les avant et arrière-becs, les têtes des voûtes, les corniches du pont et les médaillons des tympans seront en maçonnerie de pierre de taille de Château-Landon, les parements des tympans seront en moellons taillés de Château-Landon, les douelles des voûtes et les parements des piles en moellon piqué de

he ou de Vergelet; la pierre neuve employée pour les parements des murs des quais a de la roche de Bagneux, celle pour les cordons et les parapets du quai sera en rre de Venderesse.

Le béton de fondation des piles et des culées du pont, des murs des quais et les mas-s des culées du pont seront hourdés en mortier de chaux hydraulique de Senonches de Tournay, les piles et les voûtes du pont seront hourdées en mortier de ciment de rtland, de Boulogne-sur-Mer.

Les tympans et la corniche du pont et les murs des quais seront hourdés en mortier chaux hydraulique des Moulineaux.

CHAPITRE 2. — *Mode d'exécution des travaux.*

ART. 17. *Tracé des ouvrages.* L'ingénieur tracera l'emplacement des différents ou-ages, l'entrepreneur fournira à ses frais les bateaux, agrès, ouvriers, piquets, outils instruments nécessaires pour le tracé, la visite et la réception des ouvrages.

ART. 18. *Chantiers.* L'entrepreneur devra se pourvoir à ses frais de chantiers, si les nplacements mis à sa disposition par l'administration ne sont pas suffisants. Il est ·évu dès à présent que les emplacements pour la préparation des mortiers et des ,tons manqueront complétement et que l'entrepreneur devra s'en pourvoir à ses frais ı moyen d'échafaudages, de radeaux ou de bateaux établis en rivière.

ART. 19. *Ordre d'exécution des ouvrages.* On établira la passerelle provisoire pour ·s piétons, en même temps on enlèvera la chaussée, les parapets, les trottoirs, les ɔrniches du pont, les remplissages sur les piles et les voûtes, et cela tout en réservant n trottoir du pont pour la circulation des piétons jusqu'à ce que la passerelle soit ter-ninée; on enlèvera les cintres pour la démolition des voûtes. Après cette démolition n arrachera les parements des culées, on démolira les cinq piles, le tout jusqu'à $1^m,20$ u-dessus de l'étiage; ces travaux, y compris la démolition de la pile du cagnard, si elle ·st ordonnée, devront être terminés dans un délai de trois mois à dater de la notification le l'ordre de commencer les travaux, faute de quoi l'entrepreneur subira une retenue le 300 fr. par chaque jour de retard dans l'achèvement des démolitions. Dans le cas où a hauteur des eaux ne permettrait pas d'atteindre $1^m,20$ au-dessus de l'étiage, le délai i-dessus spécifié serait réduit dans la proportion du cube total des parties à démolir usqu'à $1^m,20$ au-dessus de l'étiage, au volume que les eaux ne permettraient pas de lémolir. Il sera ensuite procédé à la démolition complète des fondations des secondes piles de droite et de gauche et au dragage de l'encaissement des nouvelles piles; puis on procédera à la mise en place des caissons qui seront préparés à l'avance, au rem-plissage en béton de ces caissons, on montera ensuite la maçonnerie des piles. Pendant qu'on procédera à la démolition des fondations des vieilles piles et au dragage de l'encaissement des nouvelles, l'entrepreneur construira les fondations des culées et des murs des quais de la rive gauche; en même temps qu'il construira les piles neuves, il procédera à l'établissement des cintres de reconstruction de manière à pouvoir fermer s'il est possible les voûtes dans la même campagne. Les cintres de reconstruction y compris le battage des pieux et le réglement des couchis devront être terminés dans un délai de deux mois à dater de la notification de l'ordre de service qui sera donné pour leur établissement, faute de quoi l'entrepreneur subira une retenue de 200 fr. par jour de retard.

La chaussée du pont et les trottoirs devront être livrés à la circulation dans un délai de deux mois à dater du jour de l'achèvement de la pose des cintres, faute de quoi l'entrepreneur sera passible d'une retenue de 300 fr. pour chaque jour de retard.

Dans le cas où les époques prévues pour la marche des travaux seraient modifiées, il ne serait toutefois rien changé aux délais d'exécution et aux retenues en cas de retard.

ART. 20. *Dépavage, déblais et remblais.* Pour la démolition des trottoirs, de la chaussée du pont et de ses abords, l'entrepreneur fera enlever à ses frais les boues et

immondices qui seraient à la surface. Les matériaux seront chargés en voiture aux et transportés dans l'emplacement indiqué par l'ingénieur.

Les terres ou décombres provenant des déblais sous la chaussée, les trottoirs et ceux provenant des fouilles seront enlevés aux décharges publiques soit par terre soit au moyen de bateaux.

Les remblais à exécuter seront faits en régie, à moins qu'on prescrive à l'entrepreneur de les faire au moyen de déblais provenant de l'exécution des travaux.

ART. 21. *Démolitions.* Les démolitions seront faites avec le plus grand soin, et pierres de taille et moellons en provenant seront transportés et rangés au lieu de dépôt qui sera fixé par l'ingénieur, au moment de l'exécution des travaux. Les moellons seront nettoyés et emmétrés ; la pierre de taille sera nettoyée avec soin ; elle ne pourra être réduite en moellons que sur l'ordre écrit de l'ingénieur.

Les pierres endommagées par la faute de l'entrepreneur seront déduites de son compte à raison de 50 fr. le mètre cube quelle que soit la nature ; il sera en outre tenu d'exécuter, à ses frais, les tailles nécessaires pour rendre la pierre susceptible d'emploi.

L'entrepreneur sera responsable de tous les matériaux provenant des démolitions. A cet effet il sera pris compte des différents métrés de moellons ; quant aux pierres de taille, elles recevront toutes aux frais de l'entrepreneur un numéro apparent qui sera reporté sur un carnet *ad hoc* indiquant en regard les dimensions de la pierre, et qui devra être conservé lors de la retaille ; il devra être justifié, au fur et à mesure, en cours d'exécution de l'emploi de chaque pierre ; les pierres qui viendraient à manquer, et dont l'emploi n'aura pas été justifié seraient déduites du compte de l'entrepreneur à raison de 60 fr. le mètre cube quelle que soit la nature, et le moellon à raison de 15 fr. le mètre cube.

Il est expressément stipulé que l'entrepreneur ne pourra jeter quoi que ce soit en rivière pendant tout le cours des travaux ; il devra prendre toutes les mesures nécessaires pour se conformer à cette prescription ; les décombres et résidus de toute espèce devront toujours être enlevés avec soin et au fur et à mesure.

Les transports des matériaux de démolition seront payés d'après la distance parcourue. Les charretiers qui exécuteront les transports devront être porteurs, pour chaque chargement, d'un bulletin délivré par les agents de l'administration, faute de quoi le transport ne sera pas compté.

Les pierres à réduire en moellons ne pourront pas être brisées sur le lieu de la démolition.

Le rangement des matériaux neufs ou vieux sur les chantiers et lieux de dépôt sera fait aussi souvent qu'il sera nécessaire et aux frais de l'entrepreneur.

ART. 22. *Pavage.* Les anciennes formes seront soigneusement nettoyées, puis soit repiquées et dressées, soit enlevées pour être remplacées par une forme neuve. La forme neuve sera toujours pilonnée avec soin.

La forme étant dressée suivant le profil indiqué par l'ingénieur, les pavés seront posés par rangées droites et égales, d'équerre ou oblique sur l'axe de la chaussée suivant les instructions données à l'entrepreneur, et en liaison de la moitié au tiers de leur parement ; ils seront serrés en bouts et en rives de manière à ne pas laisser aux joints une largeur de plus de 15 millimètres.

Les pavés seront assurés à coup de marteau et battus au refus d'une hie du poids de 35 kilog. tombant de 0^m,50 de hauteur, en sorte que leur assiette ait toute la stabilité possible et que le bombement et les pentes soient conformes aux indications données. Les joints seront garnis de sable après la pose et fichés à l'eau avec le plus grand soin.

ART. 23. *Béton.* Le béton sera coulé d'un seul bloc et en talus, il sera amené au lieu d'emploi au moyen de chemins de fer et descendu au fond de l'eau immédiatement après sa fabrication, au moyen de treuils, dans des caisses formées de deux quarts de cylindre, ayant une charnière à la partie supérieure et s'ouvrant au moyen d'un loquet. Le coulage du béton se fera autant que possible de l'amont à l'aval ; le béton sera pressé constamment sans choc, mais avec force, aux frais de l'entrepreneur au moyen de dames plates, de manière à l'appuyer avec soin contre les parois du caisson.

mesure de l'avancement du bétonnage, on aura soin d'élever l'enrochement au rtour du caisson afin de contre-buter la poussée du béton.

es laitances seront enlevées en régie avec des dragues à main, il ne sera pas tenu ipte à l'entrepreneur du cube des laitances.

.RT. 24. *Taille de vieille pierre.* La vieille pierre à réemployer sera taillée avec le s grand soin; elle sera appareillée de manière à réduire autant que possible le het.

.es moellons piqués pour les parements des piles et les douelles des grandes ıtes auront de 0m,20 à 0m,35 de hauteur d'assises, de 0m,50 à 0m,80 de longueur de ıue; les parements seront layés droits, fins et serrés avec des arêtes relevées par ciselures, ou ripés sans épaufrures ni écornures; les joints seront retournés ıuerre sur une longueur de 0m,30. Les lits seront sans démaigrissement.

.a pierre de taille à débiter en moellons piqués, smillés ou bruts, sera désignée cialement par écrit à l'entrepreneur. Les pierres seront traitées avec le plus grand n; le vergelet sera débité à la scie, la roche et le liais seront débités au coin par des rriers spéciaux; toutefois l'ingénieur pourra prescrire, pour ménager la pierre, 'elle soit débitée à la scie, sans que pour cela l'entrepreneur puisse réclamer une ıs-value. Tous les joints sciés seront piqués à la pointe pour assurer l'adhérence mortier.

Toute pierre à débiter en moellons piqués et détériorée par suite de maladresse ou faut de soin, sera déduite du compte de l'entrepreneur à raison de 15 fr. le mètre be.

Les recoupes et résidus provenant de la taille ou du débit de la pierre neuve ou ille seront enlevés aux frais de l'entrepreneur et au fur et à mesure de leur pro-ıction.

ART. 25. *Maçonnerie de pierre de taille.* Les pierres de taille et les moellons piqués ront posés en liaison avec les maçonneries de remplissage, sans cales sur bain de ortier dont l'épaisseur sera déterminée au moyen de règles, ils seront assujettis à ıup de masse en bois et parfaitement garnis.

L'épaisseur des joints sera parfaitement régulière, le parement supérieur de chaque sise sera dérasé préalablement avant la pose de l'assise supérieure. Toutes les pierres ront mouillées avant leur emploi, il en sera de même des maçonneries sur lesquelles ı en fera de nouvelles.

Les joints verticaux des moellons piqués et des pierres de taille devront découper s uns sur les autres, d'une longueur au moins égale à la moitié de la hauteur de ıssise augmentée de 10 centimètres. La largeur des joints d'une même assise sera ırfaitement régulière.

Les joints horizontaux auront au plus 0m,014 et au moins 0m,009 de largeur, les ints montants pourront varier de 0m,005 à 0m,008; pour les voussoirs des têtes fichés ı ciment on portera l'épaisseur des joints à 0m,018; les pierres autres que celles dont s longueurs sont fixées par les appareils auront alternativement 0m,45 et 0m,75 de ıeue. Les lignes d'appareil seront conservées avec le plus grand soin, même en retour ır les murs des quais, excepté pour ceux qui ne seront pas reconstruits.

Les pierres moulurées seront posées toutes taillées, on n'admettra pas de taille de oulure sur le tas.

ART. 26. *Maçonnerie de moellons et meulière smillés et bruts.* Les moellons et la eulière smillés et les moellons ordinaires préalablement mouillés seront posés à bain ; mortier consistant; ils seront assujettis au marteau jusqu'à ce que le mortier souffle ; toute part; ils seront liaisonnés en tous sens les uns avec les autres, les joints seront ısuite garnis d'éclats de pierre, les moellons les mieux gisants et ayant la queue la lus longue seront réservés pour les parements, les vieux moellons et les pierres bri-ées devront être parfaitement nettoyés, ils seront au besoin lavés préalablement aux 'ais de l'entrepreneur.

Dans les parties où les nouvelles maçonneries doivent se lier avec les anciennes, ces

dernières auront leurs joints parfaitement dégradés, et seront nettoyés et lavés avec le plus grand soin.

Le moellon smillé sera posé en assises réglées et correspondra à l'appareil de la pierre de taille avec laquelle il se reliera. L'entrepreneur établira à ses frais des tuyaux qui amèneront l'eau directement sur les piles et sur les voûtes du pont pour arroser la pierre et les maçonneries.

Art. 27. *Rejointoiement et ragrément de la pierre de taille et du moellon piqué.* Les pierres de taille et les moellons piqués préalablement posés par assises réglées et avec des épaisseurs uniformes de joints seront ragréés de manière à présenter des plans parfaitement dégauchis sans jarret; tous les parements seront taillés à la boucharde fine ou layés entre ciselures, suivant les ordres qui seront donnés à l'entrepreneur; il ne sera toléré aucun parement de sciage.

Après que les ragréments auront été faits, les joints seront dégradés à 0m,03 de profondeur, lavés et refaits, le mortier sera lissé à 0m,003 en arrière des arêtes des pierres qui devront être parfaitement vives, sans aucune bavure de mortier.

Art. 28. *Rejointoiement de moellons ou meulière smillés.* Le rejointoiement des parements en moellons ou meulière sera fait avec le plus grand soin, les joints seront tirés au cordeau, toutes les maçonneries à rejointoyer devront être dégradées à 0m,03 de profondeur et lavées à plusieurs reprises, les nouveaux joints seront en retraite de 0m,003 sur les parements et laisseront les pierres parfaitement dégagées, ils seront bien lissés.

Art. 29. *Rocaillages et enduits.* Les rocaillages seront exécutés avec de la petite meulière parfaitement lavée et en mortier de ciment; on dégradera préalablement les joints des murs ou massifs qui doivent recevoir l'enduit, on les nettoiera à vif et on lavera à grande eau.

Les enduits seront toujours appliqués sur un rocaillage, ils seront en mortier de ciment projeté par petites parties avec la truelle et parfaitement dressés à la surface.

Art. 30. *Charpente.* Les charpentes seront taillées avec le plus grand soin; le levage sera fait au moyen de bateaux en entravant le moins de temps possible la navigation.

Les pièces seront assemblées à tenons et mortaises.

Les charpentes en location seront entaillées et assemblées toutes les fois que l'ingénieur le prescrira; les assemblages bout à bout seront faits soit à mi-bois, soit au moyen d'un trait de Jupiter, le tout sans que l'entrepreneur puisse prétendre à aucune plus-value de main d'œuvre ou indemnité de dépréciation.

Le décintrement s'effectuera au moyen de caisses remplies de sable.

Art. 31. *Fer et fonte.* Les pièces en fer et en fonte seront exactement conformes aux indications données à l'entrepreneur, elles seront posées conformément aux règles de l'art; les scellements dans les maçonneries seront faits en ciment.

Chapitre III. — *Qualité et préparation des matériaux.*

Art. 32. *Pierre de taille.* La pierre de taille à employer proviendra en grande partie des démolitions; il ne sera employé de pierre de taille neuve qu'autant que la vieille pierre, bonne à employer en assise, aura été utilisée.

La pierre de taille suivant les indications données à l'entrepreneur proviendra des meilleurs bancs de roche des carrières de Bagneux, du banc gris de la carrière de Pierrechèvre, près Châtillon-sur-Seine, des meilleurs bancs des carrières de Château-Landon et de Souppes, des bancs de Vergelot, féré, sans être rouge; elle sera parfaitement homogène, sans fils ni trous, ni moies, ni veines, non gélive et purgée de tout lit tendre et de caillasse.

Les parements vus seront layés droits, fins et serrés avec le plus grand soin, entre ciselures de 0m,025 pour la pierre de Bagneux et de Vendoresse; elle sera bouchardée à la fine boucharde entre ciselures de 0m,025 pour la pierre de Bourgogne et de Château-Landon, à l'exception de celle employée pour cordon, corniche et parapet qui sera layée; la pierre de Vergelot sera ripée; toutes les arêtes de la pierre de taille et de

iqué seront vives et dressées avec le plus grand soin, sans épaufrures, ni ; tous les lits et joints devront se retourner bien francs, sans démaigrisse- les longueurs et largeurs assignées à chaque pierre; ils seront d'équerre ou 'angle prescrit.

pierre pour assise du parapet et du cordon du quai et pour la corniche du a au moins $1^m,50$ de longueur, les claveaux des voûtes seront d'une seule s lits correspondant au milieu des refends.

gelet neuf employé comme moellon piqué dans la douelle des voûtes devra $0^m,80$ à $1^m,20$ de longueur de parement, $0^m,30$ de joint en retour d'équerre, arfaitement pleins et de $0^m,50$ à $0^m,80$ de longueur de queue.

niche sera composée de deux assises, la première aura $0^m,38$ de hauteur et largeur de queue; elle sera entaillée pour recevoir le garde-corps; les modil- ont refouillés dans la deuxième assise qui aura $0^m,42$ de hauteur et $0^m,80$ de Les joints de la deuxième assise correspondront exactement au milieu de l'in- compris entre deux modillons.

33. *Granit.* Le granit proviendra des bancs les plus durs des carrières de ille, il devra être composé de grains fins bien adhérents, d'une cassure à igus et offrir un mélange de grains blancs, roses et gris, il ne devra contenir , ni fil, ni partie tendre ou rouillée.

ue bordure droite aura au moins $1^m,30$ de longueur, chaque dalle mise en devra présenter une superficie d'au moins 0,60 de mètre carré.

ordures circulaires seront d'un seul morceau pour un arc de 45° et au-dessous, x morceaux égaux pour un arc de 45° à 90° et de trois morceaux pareillement pour un arc de 90° à 135°.

parements vus des bordures et des dalles seront taillés à la petite pointe, les en seront parfaitement dressés et dégauchis, sans flache ni moie et bien pleins ute leur superficie, les arêtes seront parfaitement droites et sans écornures; les seront smillés bien régulièrement, le tout sans aucun démaigrissement soit en t en joint.

. 34. *Moellons piqués pour les tympans.* Les parements des tympans à l'excep- le la partie occupée par les médaillons seront en moellons taillés de pierre de au-Landon ayant $0^m,50$ à $0^m,60$ de longueur de parement, une longueur de queue nt de $0^m,30$ à $0^m,40$ et de $0^m,35$ en moyenne, et une hauteur d'assise régulière $,22$ à $0^m,25$; les parements seront dressés avec soin, bouchardés à la boucharde it dents, entre ciselure de $0^m,025$ de largeur; les arêtes seront vives, les lits seront s et d'équerre sur les parements sur une longueur d'au moins $0^m,20$, la pierre ne ntera ni trous, ni moies, ni fils, ni arrachements.

T. 35. *Moellon.* Le moellon proviendra des démolitions ou du cassage de la vieille e de taille désignée à cet effet.

moellon neuf à employer sera de roche; il proviendra des carrières de Vaugirard les environs, il sera dur, rocailleux et parfaitement ébousiné, non gélif, non ri- d et non sujet à se déliter. Chaque moellon ne pourra avoir plus de $0^m,25$ dans sa petite dimension. Le moellon neuf ne sera jamais employé concurremment avec le llon appartenant à l'administration, il n'en sera fourni qu'autant que ce dernier été épuisé; il ne sera apporté sur le chantier qu'en vertu d'un ordre écrit de génieur.

e moellon neuf smillé satisfera à toutes les conditions de taille et de dimensions cifiées pour le moellon vieux smillé.

RT. 36. *Meulière.* La pierre meulière pour parement proviendra des meilleures rières de la haute Seine; elle sera dépouillée de terre, dure, résistante, d'un grain et serré, sans être poreuse. Elle sera smillée avec soin, les joints seront retournés querre sur les parements sur $0^m,15$ au minimum, elles seront parfaitement lavées et sées par assises réglées.

ART. 37. *Caillou et meulière cassée.* Le caillou ou la meulière cassée pour la fabri- tion du béton sera purgé à la claie, il devra passer en tous sens dans un anneau de

$0^m,06$ de diamètre et avoir plus de $0^m,02$ dans sa plus petite dimension; ils seront lavés avant d'être employés à la confection du béton. Les matériaux pour l'empierrement de la chaussée satisferont aux mêmes conditions de dimension et seront bien purgés; la meulière sera blanche et compacte.

ART. 38. *Sable.* Le sable sera sec et anguleux, criant à la main, sans mélange de vase, gravier ou matières étrangères; il proviendra de dragages faits en Seine, il sera passé à la claie si cela est jugé nécessaire. Le sable devant servir à la fabrication du mortier pour la pose de la pierre de taille ou la confection d'enduits sera en outre tamisé avec soin.

ART. 39. *Chaux.* La chaux sera hydraulique ou artificielle et proviendra, conformément aux ordres de l'ingénieur, de Senonches, de Tournay, de la fabrique des Moulineaux; l'hydrate déposé sous l'eau devra supporter l'aiguille Vicat au bout de 4 jours pour la chaux de Senonches et de 9 jours pour celle des Moulineaux.

L'entrepreneur justifiera de la provenance de la chaux par la présentation des lettres de voiture. La chaux de Tournay sera celle dite n° 3.

Les expériences sur la chaux seront renouvelées toutes les fois que l'ingénieur le prescrira.

La chaux de Senonches et des Moulineaux déposée vive sur les chantiers sera mise à l'abri de la pluie et de l'humidité, elle sera éteinte sous hangar dans des bassins rectangulaires à fond horizontal ayant au plus $0^m,60$ de hauteur. On n'emploiera pour l'extinction que la quantité d'eau nécessaire pour la réduire en pâte ferme et consistante; elle sera éteinte au moins 24 heures et au plus 72 heures avant l'emploi. Les hydrates qui auraient durci avant l'emploi ou qui contiendraient des incuits ou des biscuits seront rejetés.

La chaux de Tournay sera amenée vive sur le chantier, elle y sera éteinte en poudre par immersion, puis elle sera blutée avec soin.

ART. 40. *Ciment.* Le ciment à employer sera de Pouilly, de Vassy, de Boulogne ou de Portland, suivant les instructions données à l'entrepreneur; il sera conservé dans des futailles sous des hangars fermés; il devra être tamisé avec soin et purgé de toute matière étrangère et de parties vitrifiées. Le mortier de ciment dans la proportion de trois parties en volume de sable et d'une partie de ciment moulé en prisme de $0^m,04$ sur $0^m,04$ de section et déposé immédiatement sous l'eau devra au bout de 8 jours résister sans se rompre à la traction d'un poids de 40 kilogrammes.

L'entrepreneur justifiera au moyen de factures de la provenance des ciments.

Les prix portés à la série s'appliquent aux poids nets du ciment, c'est-à-dire déduction faite de la tare du fût; ils comprennent les frais d'envaisselage.

L'administration se réserve la faculté d'acheter en régie et de livrer à l'entrepreneur les chaux et ciments à employer dans les travaux.

ART. 41. *Mortiers.* Le mortier de chaux hydraulique sera composé de $0^m,33$ de chaux éteinte pour un mètre cube de sable, il sera fabriqué et conservé en tas sous des hangars; on n'en fabriquera que la quantité qui pourra être employée dans la journée; le mortier qui resterait à la fin d'une journée ne sera pas employé.

La chaux éteinte en pâte sera réduite en bouillie sans addition d'eau, celle éteinte en poudre sera délayée avec la quantité d'eau strictement nécessaire, le mortier sera corroyé jusqu'à ce que l'on ne puisse plus distinguer le sable d'avec la chaux.

Le mortier de ciment de Portland sera gâché soit au rabot, soit au broyeur, le sable et le ciment devront être parfaitement mélangés avant l'addition de l'eau, le mortier ainsi fabriqué devra être employé dans un délai maximum de deux heures.

Le mortier de ciment romain sera fabriqué suivant les proportions indiquées par l'ingénieur, il sera gâché dans des auges, par parties et avec la plus petite quantité d'eau possible; celui qui s'échaufferait avant l'emploi sera rejeté, le dosage des matières pour la fabrication des mortiers sera jaugé à l'avance; le sable au moyen de mesures métriques de capacité déterminée; la chaux en pâte éteinte par le volume dans les bassins d'extinction; les bassins seront divisés en autant de parties qu'il sera nécessaire pour

artie donne la quantité nécessaire pour une broyée de mortier. La chaux éteinte e sera mesurée en poudre dans des mesures métriques.

ient sera jaugé dans des mesures métriques qui donneront le volume cor-nt au poids du ciment à employer; ces mesures seront modifiées chaque fois ipport du poids au volume du ciment viendra à varier. Elles porteront toutes ques très-apparentes faisant connaître le poids du ciment auquel elles corres-par mètre cube de mortier.

2. *Béton*. Le béton sera composé de deux parties de mortier pour trois de ou pierre cassée. La proportion de chaux sera augmentée dans le mortier pour ation du béton destiné à être immergé. Le dosage de la pierre cassée ou du era fait comme celui du sable pour le mortier. Le mode de fabrication du béton re agréé par l'ingénieur; si ultérieurement il était reconnu des inconvénients mode adopté, l'entrepreneur serait tenu de le changer.

iton devra être employé au plus tard dans les trois heures qui suivront sa ion.

le cas où il serait prescrit une addition de ciment dans le mortier ou dans le il ne sera rien accordé à l'entrepreneur pour le surplus de façon, cette addition faite qu'après complète préparation du mortier et du béton et seulement au t de l'emploi.

43. *Charpente*. Les bois, quelle que soit leur essence, seront de premier choix, et sains, sans pourriture ni nœuds vicieux; ils ne devront être ni échauffés, ni i gélifs, ni tranchés dans leur fil.

bois en grume seront dépouillés de leur écorce, de tout nœud vicieux et de aspérité.

bois équarris ne présenteront pas de flaches de plus de 0m,12 mesurés sur le oupé, et seront purgés d'aubier.

bois refaits auront leurs faces parfaitement dressées et purgées d'aubier, et ne nteront aucune flache.

pieux devront être parfaitement droits.

palplanches seront dressées sur leurs bords à la besaiguë; la différence de lar-d'une même palplanche, à ses deux extrémités, ne pourra excéder 3 centimètres.

pieux et les palplanches auront une de leurs extrémités appointée et armée d'un en fer ou en fonte, fer et tôle, fixé avec des clous. L'autre extrémité sera disposée recevoir une frette en fer. Ils seront battus avec toutes les précautions nécessaires que les bois ne soient pas fendus, et qu'ils ne s'écartent pas de plus de la é de leur épaisseur de la position qu'ils devront occuper; dans le cas où ces con-s de battage ne seraient pas remplies, les pieux et palplanches seront arrachés et tus aux frais de l'entrepreneur. Le refus et la longueur de fiche seront prescrits à epreneur en cours d'exécution.

moises, ventrières, chapeaux, madriers et longrines ne seront pas refaits sur les ; cependant ils seront parfaitement droits, purgés d'aubier et équarris; il ne sera aucune flache de plus de 0m,05 mesurés sur le pan coupé. Chaque pièce de bois relier au moins trois pieux, et ne pourra s'assembler avec la suivante dans l'in-lle entre deux pieux. Deux pièces voisines ne pourront avoir leurs joints corres-lant au même pieu.

s bois pour charpente provisoire seront en chêne ou en sapin, suivant les ordres iés à l'entrepreneur; ils seront parfaitement travaillés.

s chapeaux et contre-fiches seront d'une seule pièce dans toute la longueur.

s charpentes, soit en location, soit pour ouvrages définitifs, seront toujours comp-d'après les dimensions exactes des pièces après la mise en œuvre; ces dimensions ont être conformes aux indications données à l'entrepreneur; il ne sera jamais rien pté en sus pour les dimensions qui excéderaient celles qui auraient été prescrites.

entrepreneur sera chargé d'établir tous les échafaudages, planchers, vannages et pentes de batardeaux ou autres pour les travaux exécutés en régie; ces ouvrages seront payés d'après les prix portés à la série.

Art. 44. *Fer et fonte.* Le fer sera de première qualité, liant, nerveux et malléable; il aura le grain fin; il sera travaillé sans brûlure, paille ou gerçure.

La fonte sera de seconde fusion et de la meilleure qualité; elle sera douce, bien homogène, sans gerçure ni boursouflure; la cassure présentera un grain gris fin sur arrachement.

Art. 45. *Bitume.* Le bitume sera composé de roche asphaltique de Seyssel et de goudron minéral de Bastennes; il sera appliqué à chaud et formé, pour le dallage des trottoirs, de trois parties d'asphalte et de deux parties de sable très-fin et bien lavé.

Chapitre IV. — *Manière d'évaluer les ouvrages.*

Art. 46. *Journées.* Les prix des journées d'ouvriers sont établis pour un travail effectif de 10 heures, tant en hiver qu'en été. Les fractions des journées sont comptées par heure de travail effectif. Les prix de journées comprennent tous frais et bénéfices, savoir : 1° le salaire de l'ouvrier; 2° la fourniture et l'entretien des outils relatifs à la profession de l'ouvrier, et des machines et instruments employés habituellement sur les chantiers, tels que brouettes, plats-bords pour le roulage, pilons, pinces, crics, maillets, jalons, voyants, règles, niveaux, etc.; 3° l'intérêt de l'avance de fonds et le bénéfice de l'entrepreneur.

Art. 47. *Dépavage.* Le démontage des chaussées pavées sera évalué à la surface, le transport des pavés au millier, en tenant compte de la distance du lieu d'enlèvement au lieu de dépôt.

Art. 48. *Déblais.* Les déblais seront évalués au mètre cube, d'après les profils levés contradictoirement. Il ne sera pas tenu compte des jets pour l'enlèvement des déblais exécutés, soit en contre-haut, soit en contre-bas de l'eau; ils sont compris dans les prix des terrassements. Il sera tenu compte à part des charpentes pour épuisements.

Art. 49. *Démolitions.* Les démolitions de maçonnerie seront évaluées au mètre cube, d'après les profils levés en cours d'exécution. Seront comptées comme moellons dans la démolition des murs de quai et du pont les pierres cubant moins de 0m,06. Les prix comprennent l'enlèvement des détritus et mortier aux décharges publiques, tous les frais du pont de service, d'échafaudage de toute espèce, de levage à la chèvre ou autrement, le transport jusqu'aux voitures, l'emmétrage ou le rangement. Tous les arrachements de parements seront comptés comme démolition.

La dépose et démolition des fers et des fontes sera évaluée au kilogramme.

Les prix de démolition comprennent tous les frais pour établissement d'échafaudages de chemin de fer, pour agrès; ils comprennent aussi le nettoyage des matériaux et l'enlèvement aux décharges publiques de tous les résidus de démolition.

Art. 50. *Transports.* On tiendra compte à l'entrepreneur du transport des matériaux de démolition, tant pour enlèvement que pour réemploi. Ce transport est compris comme approche dans les prix des différents ouvrages, lorsque la distance à parcourir ne dépasse pas 200 mètres pour la maçonnerie de pierre de taille et de meulière piquée, et 300 mètres pour les maçonneries de moellons et meulière. Par suite, il ne sera tenu compte à part que des distances parcourues en sus de celles indiquées ci-dessus. Le transport des déblais qui ne seront pas enlevés aux décharges publiques, et qui seront employés en remblais sur les travaux, sera payé d'après la distance parcourue.

Il ne sera, dans aucun cas, compté des transports à pied d'œuvre ou autrement pour tous les matériaux neufs fournis par l'entrepreneur, pas plus que pour les objets en location.

Art. 51. *Maçonneries.* Le béton sera mesuré d'après les profils pris au fur et à mesure des fouilles dans lesquelles il sera versé.

Les maçonneries de pierre de taille seront mesurées d'après le cube réellement mis en œuvre, déduction faite de tous les vides, à l'exception toutefois des refouillements que l'ingénieur prescrira d'exécuter sur le tas.

Les maçonneries de meulière et moellons de toute espèce seront évaluées au cube, excepté celle des moellons taillés de pierre de Château-Landon pour les parements des tympans, qui sera évaluée d'après la surface des parements en œuvre; la taille et le

e des parements seront évalués d'après la surface des parements vus. Les prix
mment la taille des lits et joints, le débit de la pierre et tous les abatages ou évi-
s ; les parements courbes ou moulures seront évalués d'après leur développe-
Les prix comprennent les abatages et parements préparatoires. On entend par
e ou corps de moulure toute portion de parement dont les divers profils ont
moins de $0^m,10$ de développement de parement droit ; au-dessus de cette di-
n les parements, selon leur nature, seront comptés comme plans ou courbes.
is d'épure et de panneaux pour la préparation de la taille de la pierre neuve et
ierre vieille sont à la charge de l'entrepreneur.
refends seront payés au mètre courant; il ne sera alloué aucune plus-value
arements courbes en moellons piqués, moellons ou meulière smillés.

52. *Charpente.* Les bois seront payés d'après le cube effectif mis en œuvre.
dimensions seront prises au centimètre, en négligeant les fractions au-dessous
et en comptant $0^m,005$ ou au-dessus pour $0^m,01$; toutefois le vide des assem-
ne sera pas déduit. Une pièce à tenon sera mesurée sur toute sa longueur sans
e l'évidement du tenon. Les pieux provisoires seront évalués d'après leurs di-
ns après recépage; le prix prévu à la série comprend la main-d'œuvre et le dé-
u recépage.
r les battages, les enfoncements au delà de $1^m,00$ seront évalués d'après leur
ur réelle, mais mesurée au décimètre, en négligeant les fractions au-dessous de
forçant l'unité pour $^1/_2$ ou au-dessus.
ouvrages provisoires, quelle que soit leur durée, seront payés comme location ;
ix portés à la série pour tous les travaux de charpente comprennent tous les
le mise en œuvre : échafaudages, marine, pose des fermes, reprise sur le tas,
rement, démontage, enlèvement, etc.
ntrepreneur devra fournir pendant tout le temps que cela sera jugé nécessaire,
es frais, les ouvriers qui lui seront demandés par l'ingénieur pour les opérations
cintrement. Les bois redeviendront la propriété de l'entrepreneur, quels que
t le déchet et la dépréciation, sans qu'il puisse avoir droit à aucune plus-value,
dans le cas de perte ou d'usure complète. Les bois étant la propriété de l'entre-
ur, il pourra, pour utiliser ce qu'il possède, employer des pièces d'un équarris-
supérieur à celui demandé, mais on ne les lui payera que d'après l'équarrissage qui
ura été prescrit.

T. 53. *Fers.* Les fers seront payés d'après leur poids ; ils seront toujours pesés avant
loi. L'entrepreneur fournira à ses frais des appareils en bon état pour opérer toutes
esées. Les prix portés pour location de fers ou tôles comprennent tous les frais
ise en œuvre et dépose, le déchet, et même l'indemnité en cas de perte totale.

T. 54. *Granits et bitumes.* Les bordures en granit seront payées d'après la longueur
rée en place ; le dallage en granit sera évalué d'après la surface, mesurée également
ace. Les prix portés à la série comprennent la taille des parements, lits et joints. Les
nes seront évalués au mètre superficiel ; le prix de réfection comprend le rétablis-
nt d'un dallage avec une épaisseur de $0^m,015$, quelle que soit l'épaisseur primitive.

T. 55. *Bardage, levage, échafaudage.* Les prix portés pour les différentes natures
rages comprennent les frais de bardage, montage ou descente à la chèvre ou autre-
t, d'approche de toute espèce de manière, de construction d'échafaudages, de pont
ervice, de chemins de fer, etc.

CHAPITRE V. — *Conditions générales et particulières.*

T. 56. *Réception des matériaux.* Tous les matériaux seront reçus après la taille
a préparation complète et avant l'emploi ; ceux rebutés seront marqués d'un signe
lébile et apparent, et devront rester sur les chantiers jusqu'à la fin des travaux.
'ingénieur pourra se livrer à toutes les épreuves qu'il jugera nécessaires pour
surer de la qualité des matériaux.

RT. 57. *Délai de garantie.* Le délai de garantie est d'une année, à partir du jour
a réception provisoire aura été prononcée.

La réception provisoire ne sera prononcée qu'autant que tous les travaux sont complétement terminés et que l'entrepreneur aura enlevé ses bureaux et magasins, les matériaux qui lui appartiendraient, ainsi que tous les détritus et décombres, qui devront, dans tous les cas, être enlevés aux frais de l'entrepreneur au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Jusqu'à la réception définitive, l'entrepreneur devra entretenir en bon état et à ses frais les différents ouvrages qu'il aura exécutés. Il est fait toutefois exception pour l'empierrement de la chaussée du pont; la retenue de garantie sera de $^1/_{10}$ pour les travaux faits et de $^1/_5$ pour les approvisionnements.

ART. 58. *Clôtures, éclairage, gardiennage et préservation des maçonneries contre la gelée.* Tous les chantiers devront être clos sur les voies publiques, ports et banquettes, aux frais de l'entrepreneur, au moyen de barrières pleines et de deux mètres de hauteur. L'entrepreneur devra éclairer convenablement et à ses frais, au moyen d'appliques, ses ateliers, chantiers et dépôts de matériaux; il restera exclusivement garant et responsable dudit éclairage, soit envers la police, dont il devra exécuter les ordonnances, soit à l'égard des tiers en cas d'accident. Il devra pourvoir à ses frais au gardiennage de tous les dépôts, chantiers et ateliers en dehors du pont; le gardiennage du pont proprement dit sera fait en régie. Il devra, pendant les gelées, couvrir à ses frais les maçonneries nouvellement faites par des paillassons.

ART. 59. *Entraves à la navigation.* L'entrepreneur devra conduire ses travaux de manière à ne pas apporter d'entraves à la navigation; il se conformera, à cet effet, aux ordonnances de police.

ART. 60. *Travaux de nuit.* L'entrepreneur ne pourra se refuser à des travaux de nuit; il n'aura droit, dans ce cas à aucune plus-value; il lui sera tenu compte seulement des frais d'éclairage.

ART. 61. *Travaux en dehors de l'adjudication.* Sont exceptés de l'adjudication: 1° la construction du garde-corps; 2° les épuisements; 3° les déblais et démolitions sous l'eau.

Pour les travaux à exécuter en régie, l'entrepreneur pourra être tenu de fournir aux prix de la série des ouvriers outillés conformément à leur profession; les prix de journées seront frappés du rabais de l'adjudication.

Dans le cas où, pour des travaux exécutés par l'entrepreneur, on serait obligé d'avoir recours à des prix qui ne seraient pas prévus dans la série, il sera fait application des prix de la série d'entretien des ouvrages de la navigation dans Paris; ces prix seront frappés du rabais de la présente entreprise.

ART. 62. *Fausse manœuvre pour dérangement de matériaux.* Toute fausse manœuvre pour dérangement de matériaux à l'occasion d'une fête, du passage d'un cortége, ou pour cause de sûreté publique, demeure entièrement à la charge de l'entrepreneur.

ART. 63. *Matériaux fournis par l'administration.* L'entrepreneur ne pourra réclamer aucune indemnité ou résiliation dans le cas où le tout ou une partie des matériaux neufs à livrer par lui seraient fournis par l'administration.

ART. 64. *Clauses et conditions générales.* En outre des clauses mentionnées au présent devis, l'entrepreneur sera soumis aux clauses et conditions générales jointes à la circulaire de M. le directeur général, en date du 25 août 1833, sauf les dérogations qui auraient été stipulées au présent devis. Il se conformera également aux prescriptions de la circulaire ministérielle du 15 décembre 1848, relative aux ouvriers blessés sur les chantiers, modifiée par celle du 22 octobre 1851, et à la circulaire du 10 novembre 1854, qui prescrit l'interdiction du travail les dimanches et les jours fériés, à moins d'une autorisation spéciale de l'administration supérieure.

Conformément au décret du 8 mars 1857, l'entrepreneur subira, au profit des asiles de Vincennes et du Vésinet, une retenue de 1 p. 100 sur le montant liquidé à son profit des travaux qu'il aura exécutés.

Enfin l'entrepreneur devra réserver, au profit de l'État, tous les objets qui seront trouvés dans les fouilles ou démolitions, et il sera personnellement responsable de tout détournement provenant de son fait ou de celui de ses ouvriers.

Le présent devis dressé par l'ingénieur soussigné. VATBERT.

TUNNELS.

. *Fouilles souterraines.* Lorsque les tranchées atteignent une ıdeur telle que la surface du sol est à 7 ou 8 mètres au-dessus ctrados de la voûte du passage à établir, l'on conçoit que la : de l'énorme quantité de déblais, et sa mise en cavalier, ou son ›ort à une grande distance, entraînent dans des frais considé- ; de main-d'œuvre et d'acquisition de terrain pour dépôts, et que ouvent, au lieu d'opérer à ciel ouvert, il peut y avoir économie :éder souterrainement.

›iqu'il ne puisse y avoir de règle fixe pour donner la préférence ou à l'autre de ces modes d'opérer, dans les travaux de routes, emins de fer ou de canaux, on admet cependant généralement orsqu'une tranchée dépasse 16 mètres de profondeur, il y a avan- ı établir un tunnel, quoique les difficultés d'exécution soient ue toujours beaucoup plus grandes et qu'elles exigent une atten- ›t des soins très soutenus.

xécution de la fouille proprement dite s'effectue avec les mêmes s et à très-peu près par les mêmes moyens que pour les tran- s à ciel ouvert (666); seulement on doit la faire précéder de tra- : préparatoires, ayant pour objet d'assurer toute sécurité aux iers, et consistant notamment dans l'étayement, le blindage et uraillement des galeries, ainsi que dans l'emploi des moyens de ilation.

s fouilles de souterrains s'attaquent ordinairement à la fois par ıeux extrémités et par des puits que l'on pratique de distance en ınce sur toute l'étendue de la percée. Les déblais des extrémités èvent le plus souvent à la brouette, au tombereau ou au wagon. ' racheter la différence de niveau du sol naturel et du fond du errain, on établit parfois des plans automoteurs sur lesquels, à e de cordes passant sur des poulies, les wagons pleins descen- : remontent les wagons vides. Le montage des déblais enlevés par ıuits s'effectue au moyen de treuils ou autres machines établis à fice de ces puits.

›9. *Excavation souterraine dans un terrain de roches.* Lorsque le ıin est assez dur pour ne pas nécessiter de revêtement en maçon- e, on commence le travail en entrant en très-petites galeries par xtrémités, et en perçant les puits sur l'axe du souterrain. La dis- e entre ces puits dépend de la rapidité d'exécution que l'on veut nir. Avec les premiers déblais, on élève de 1m,50 à 1m,75 les bords puits, afin d'éloigner les eaux pluviales et de faciliter le déchar- ent des bennes et le chargement des déblais en tombereau ou en

wagon. Lorsque les puits sont arrivés à la profondeur voulue, on perce, en avant et en arrière de chacun d'eux, dans l'axe du souterrain, une *petite galerie d'axe*, que l'on désigne sous le nom de *trou de rat*, dont les dimensions sont de 1m,50 à 1m,80 de hauteur sur 1 mètre de largeur. Parfois on attaque presque en entier le demi-cercle supérieur de la galerie, en agissant toujours sur une section suffisante pour permettre le roulage de petits wagons de terrassement sur chemin de fer. Cette partie supérieure, appelée *couronne d'avancement*, se perce entièrement d'un puits à l'autre avant d'attaquer la partie inférieure. S'il arrive qu'on rencontre l'eau, on descend les puits à 1m,50 ou 2 mètres en contre-bas du sol de la petite galerie, et à la hauteur de ce sol on les recouvre d'un fort plancher, percé seulement de trous pour le passage des tuyaux des pompes d'épuisement, lesquelles sont mues par des hommes, des chevaux ou des machines à vapeur, selon le volume d'eau à épuiser.

Les eaux sont amenées dans chaque puits par une petite rigole de 0m,50 de largeur environ, qui est creusée assez profondément dans le sol de la galerie, pour que les eaux s'y écoulent facilement. Cette rigole se recouvre au moyen de planches, ou mieux de pierres plates, quand les déblais en fournissent.

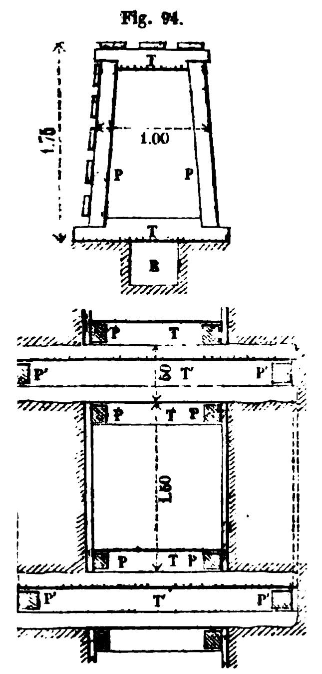
Si l'on a commencé par une petite galerie d'axe, après l'avoir percée dans toute l'étendue du tunnel, afin que l'on puisse fixer exactement la direction de celui-ci et donner écoulement à l'eau de l'amont vers l'aval, on procède au déblayement complet de la couronne d'avancement. Ce travail terminé, on procède à la fouille du *revanché*, c'est-à-dire de la partie inférieure comprise entre les pieds-droits du tunnel, en ayant soin de se débarrasser des eaux par les mêmes moyens, et en prenant toutes les dispositions d'étayement et de blindage nécessaires, ainsi que les précautions que nous avons indiquées au n° 671, pour l'extraction de la roche au moyen de la poudre.

710. *Excavation souterraine dans un terrain ordinaire, sable, tuf, marne*, etc. Dans un terrain qui n'est pas susceptible de se soutenir sans un revêtement en maçonnerie, on commence par creuser les puits jusqu'à 2 mètres environ en contre-bas du sol de la petite galerie, pour faciliter l'asséchement du terrain à fouiller. Au fur et à mesure de la descente des puits, on a soin de les blinder à l'aide d'un cuvelage en planches ou en madriers, retenus par des cercles en fer ou en bois. Quand ils sont creusés, on les recouvre avec soin, à la hauteur de la galerie d'axe, dite trou de rat, d'un fort plancher à travers lequel passent les tuyaux de la pompe d'épuisement. On perce alors la galerie d'axe, à laquelle on donne environ 1m,80 de hauteur sur 1m,60 de largeur, et que l'on a soin de blinder et de soutenir à mesure qu'elle

ce, si le terrain n'a pas assez de consistance pour se soutenir de même.

plus souvent le blindage en charpente est posé par les ouvriers eurs, et il se compose généralement, comme le montre la *fig.* 94, en élévation et en plan, de cadres formés de deux traverses horizontales T, de 0m,20 sur 0m,20 d'équarrissage, et de deux poteaux légèrement inclinés P, d'une section de 0m,15 sur 0m,15; sur les traverses supérieures, et au besoin contre les poteaux P, on pose des madriers ou des planches. Dans le cas de sable fin ou de terre humide et coulante, ces madriers doivent être jointifs et d'une épaisseur suffisante pour résister à la pression de la terre, qui peut être assez grande. Si, au contraire, le sol a une certaine consistance, on se contente d'étayer le ciel de la galerie au moyen de quelques madriers reposant sur les traverses supérieures.

Fig. 94.



L'espacement des cadres ne doit pas, autant que possible, excéder 1m,50 d'axe en axe, si le terrain a nécessité la pose de planches ou de madriers contre les poteaux montants. On fait alors le blindage au moyen de adriers ayant au plus 1m,50 de longueur, qui doit être l'écartement rs œuvre des cadres. D'un ensemble de deux cadres à l'ensemble vant, on laisse libre un intervalle de 0m,40 à 0m,50, que l'on creuse suite latéralement pour la pose des cadres de la *moyenne tranchée*.

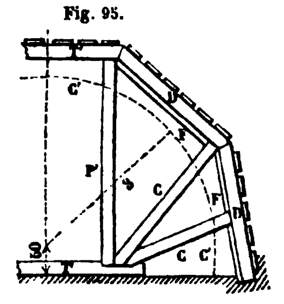
Avant de poser les traverses inférieures T, on a soin de creuser ns le fond de la galerie une rigole R, de 0m,40 environ de largeur et profondeur, pour donner écoulement à l'eau vers les puits. Des anches posées sur les traverses inférieures T couvrent cette rigole facilitent le roulage des brouettes. Dans un terrain sablonneux, la gole se fait en planches; sans cette précaution, elle se comblerait esque immédiatement.

La galerie d'axe étant creusée d'une des extrémités du souterrain à puits, ou d'un puits à un autre, on arrête le parfait alignement souterrain; puis on procède à la fouille de la *moyenne galerie*, à quelle on donne généralement en largeur le tiers environ de la largeur de la voûte du souterrain, mesurée à l'intrados, et en hauteur

celle comprise entre le sommet de l'intrados de la voûte et la ligne passant à $0^m,50$ environ en contre-bas des naissances de cette voûte. C'est au niveau de cette ligne que l'on a établi le sol des trous de rat.

Pour établir la moyenne galerie, fig. 94 et 95, dont l'échelle de la première est double de celle de la seconde, on creuse latéralement les intervalles de $0^m,40$ à $0^m,50$ laissés entre les ensembles successifs de deux cadres du blindage de la petite galerie, et dans ces intervalles on établit des cadres formés, à peu près comme ceux de la petite galerie, de deux traverses horizontales T et de deux poteaux montants P'. Au fur et à mesure que l'on a posé les chevalements ou cadres de la seconde galerie, on enlève ceux de la petite galerie d'axe, et on fouille entre les deux nouveaux cadres, de manière à pouvoir placer sur les traverses supérieures T', qui sont plus élevées que celles T, les madriers qui doivent soutenir parfaitement le ciel; puis, si cela est nécessaire, les madriers s'appliquant contre les poteaux P'.

Fig. 95.



Lorsque cette seconde galerie est terminée, on creuse derrière les poteaux P' des tranchées de $0^m,50$ de largeur environ, pour mettre en place les contre-fiches C et les pièces D qui doivent compléter les fermes d'étayement de la couronne d'avancement; des petites fourrures F, placées en dernier lieu, contrebutent les extrémités des contres-fiches. On fait alors le *battage en grand*, c'est-à-dire qu'on exécute la fouille de manière à pouvoir placer sur les pièces D les madriers allant d'un cadre à l'autre.

Les cadres de la couronne d'avancement sont ordinairement posés par les ouvriers mineurs, qui les espacent au plus de 2 mètres d'axe en axe, et qui réduisent souvent cet intervalle à $1^m,50$, quand le sol est peu résistant.

Le blindage de la partie supérieure du souterrain étant terminé, les charpentiers procèdent à la pose du cintre C' de la voûte, en plaçant les fermes dans les intervalles des cadres d'étayement; les mineurs étayent les madriers du blindage à l'aide de petits potelets reposant sur les fermes du cintre; ils retirent, au fur et à mesure que la voûte avance, les diverses pièces des cadres d'étayement, et l'on peut considérer le travail de terrasse de cette partie supérieure comme achevé. Les maçons construisent alors la voûte, en avançant par anneaux: les charpentiers leur placent les couchis au fur et à mesure de la pose des assises, et les mineurs retirent, si cela est possible, les madriers de blindage, afin de ne pas les laisser derrière les maçonneries.

e grand égout collecteur de Paris, le cintre C' est à courbure que de 2m,00 de petit axe et de 5m,60 de grand axe.

partie supérieure du tunnel étant achevée, on procède à l'exé- de la partie inférieure, en fouillant d'abord une tranchée d'axe, e fond de laquelle on creuse une rigole d'écoulement pour les cette tranchée, à laquelle on donne de 1m,75 à 2 mètres de lar- descend jusqu'au fond du souterrain, et on l'étaye avec soin. rocède ensuite au déblayement complet, en opérant par lon- rs alternatives de 3 à 4 mètres au plus, séparées par une lon- r égale; on exécute les pieds-droits en sous-œuvre sur deux ieurs successives déblayées, et ce n'est qu'alors qu'on enlève les is de la partie intermédiaire aux portions maçonnées; puis, l'on truit les pieds-droits dans cette partie, et on continue ainsi de .

ns les terrains assez consistants pour rester pendant un certain s sans avoir besoin d'étais, on se borne à placer les cadres yement et à soutenir le ciel; à part le rocher, quoi qu'il en soit solidité de la terre, il serait imprudent d'agir autrement, car les es conservent rarement leur cohésion au contact de l'air, et de éboulement pourrait résulter de graves accidents.

'étayement ordinaire devient même parfois insuffisant dans les ains mous et très-humides, que l'on peut rencontrer dans le per- ent d'un tunnel passant sous un canal ou sous une rivière; dans cas, on a recours à des dispositions spéciales analogues à celles ptées par l'ingénieur Brunel pour la percée du tunnel sous la nise.

11. *Dispositions générales relatives aux déblais souterrains.* Suivant nature du sol, les fouilles souterraines s'exécutent à la pioche, au , à la pince ou à la poudre. Quant au transport des déblais, il se t, soit au moyen de bennes que l'on charge sur des brouettes pour amener aux puits, soit au moyen de camions ou de wagons qui ulent sur chemin de fer et qui sont susceptibles d'être montés r les puits. Généralement, quand les puits ne sont espacés que de 0 mètres, le transport en bennes sur brouettes fournit des résul- ts aussi avantageux que celui en wagons sur rail-way.

Les déblais provenant de la fouille des puits s'élèvent avec des ba- iets, au moyen d'un treuil à bras; mais, pour le montage des déblais la galerie, il y a de grands avantages à employer le manége de araîcher mû par un ou deux chevaux, si toutefois la fouille marche ssez vite pour l'entretenir; on peut même remplacer les chevaux par ne machine à vapeur. Au grand égout collecteur de la ville de Paris, s entrepreneurs ont obtenu de bons résultats, en faisant usage our monter les déblais d'une chaîne sans fin passant sur un système le poulies, à laquelle on accrochait successivement les bennes ou

baquets ; la machine motrice sur chaque puits était une locomobile de la force de quatre chevaux.

Avec les manéges ou les machines à vapeur, les bennes sont toujours plus grandes que celles mues à bras d'hommes, ou bien on en élève plusieurs à la fois. On doit, du reste, autant que possible, utiliser le moteur qui monte les déblais pour faire mouvoir les pompes d'épuisement ; ce qui se fait à l'aide d'une courroie passant sur une poulie ou un tambour adapté à la locomobile ou au manége, et sur une poulie dont l'arbre porte les manivelles ou les excentriques qui impriment le mouvement de va-et-vient aux pistons des pompes.

Lorsque le percement d'un puits se fait à la poudre, le mineur doit se faire remonter hors du puits, ou au moins à une hauteur de 10 mètres, aussitôt qu'il a mis le feu à la mèche, sans quoi il pourrait être atteint par les éclats de pierre. Un système de ventilation pourra être établi à l'ouverture du puits pour faire sortir promptement les gaz produits par l'explosion de la poudre ; cette ventilation occasionne ordinairement une perte notable de temps.

Les plus grandes précautions doivent être prises pour faire partir les coups de mine sous galerie ; une consigne sévère doit prescrire que les explosions aient régulièrement lieu à des heures déterminées, et qu'aucun ouvrier ne reste sous la galerie au moment où elles se produisent ; à cet effet, un signal d'alarme avertit les ouvriers de se retirer, et la reprise des travaux n'a lieu qu'après un temps fixé par le chef d'atelier.

712. *Ventilation. Éclairage.* Avant que la communication des puits entre eux ne soit établie, il arrive fréquemment que l'air ne se renouvelle pas suffisamment dans la galerie, alors on établit une ventilation convenable ; ce qui peut se faire simplement à l'aide d'un soufflet de forge foulant l'air dans des tuyaux en cuir ou en toile qui le portent au fond de la galerie ; un petit poêle métallique, tenu constamment allumé au sommet du puits, peut, dans certains cas, en appelant l'air de la galerie, produire une ventilation convenable.

Il n'est guère possible de fixer *à priori* à quelle profondeur de galerie la ventilation artificielle sera nécessaire ; cette profondeur dépendant de la différence de température de l'air de la galerie et de l'air extérieur, et des fissures qui peuvent se trouver dans le sol, causes qui produisent une ventilation naturelle plus ou moins active ; il peut arriver aussi que des gaz se dégagent du terrain et exigent une ventilation artificielle plus prompte et plus active. Dans des terrains à très-peu près semblables, et pour des puits de même profondeur, on a remarqué qu'à 30 mètres en galerie les ouvriers avaient quelquefois beaucoup de peine à respirer, et que la chandelle ou la lampe ne brûlait que faiblement, tandis que dans d'autres cas, à 75 et même 100 mètres, la respiration n'était nullement gênée.

sieurs essais ont été faits relativement à l'éclairage sous galerie ;
l'éclairage par la lampe des mineurs et celui fait avec la chan-
sont encore ceux qui ont fourni les meilleurs résultats, tant
e rapport de la simplicité que sous celui de l'économie.

. *Prix des souterrains.* Ces prix sont variables en raison de la
e du sol et de la section de la galerie. Plusieurs exemples
émontré que, non compris le montage proprement dit, en te-
compte de la fouille, de la charge et du transport en brouette ou
mion, à une distance de 50 mètres sous galerie, le prix des exca-
ns en tranchées à ciel ouvert était à celui des excavations sou-
ines, pour des sections égales de tranchées et de galeries, dans
pport moyen de 1 à 4 pour les terres, sables, marnes et tufs
hables à la tournée, de 1 à 3 pour les marnes et tufs fouillables
ic, sans emploi de la poudre, et de 1 à 2,5 pour les roches très-
s exigeant l'usage de la mine.

EAU *du temps employé à l'excavation d'un mètre cube de déblai pour quelques souterrains de diverses sections, dans différentes natures de terrain.*

DÉSIGNATION.	SECTION moyenne de l'excavation.	HEURES DE mineurs ou piocheurs	HEURES DE chargeurs ou rouleurs	HEURES DE manœuvres aux treuils
. *Tunnel du Consulat de Suède à Alger.* (Argile dure et compacte Transport au camion à des distances de 0 à 100 mètres).	m. c. 4.50	h. 6.50	h. 6.50	h. »
II. *Galerie d'égout sous le boulevard du Combat, à Paris.* (Gypse ou pierre à plâtre. Transport en baquets sur brouettes à des distances de 0 à 50 mètres; puits de 10 mètres de hauteur moyenne).	2.60	13.00	6.50	13.00
La même galerie. (Terrain de remblai d'anciennes carrières). .	*id.*	3.60	3.60	7.20
III. *Galerie percée sous le canal de l'Ourcq.* (Terrain ordinaire avec suintement d'eau; transport à la brouette à des distances de 0 à 40 mètres).	3.65	4.75	4.75	»
IV. *Galerie d'égout, à Passy.* (Sable vert très-fin, compacte et mêlé d'argile; transport à la brouette à des distances de 0 à 40 mètres; puits de 9 mètres de profondeur).	5.00	4.50	4.50	9.00
V. *Souterrain de Saint-Cloud, chemin de fer de Paris à Versailles.* (Terrain de marne verte renfermant environ 3 pour 100 de gypse, ou pierre à plâtre compacte; d'après une notice publiée en 1846, par M. Tony-Fontenay, entrepreneur du souterrain).	60.50	»	»	»
1° *Moyenne de tous les travaux d'excavation de la grande section de souterrain.* (Fouille, charge, transport en brouette ou en camion sous galerie à des distances de 0 à 40 mètres, accrochage des camions, mais non compris montage)	*id.*	5.30	6.70	»
2° *Moyenne des travaux d'excavation de dix puits, ayant chacun 27m,14 de profondeur et 10 mètres environ de section, et de dix petites galeries de 10 mètres de longueur et 4 mètres de section.* (Fouille, charge, transport en brouette, accrochage des baquets, montage au treuil à bras d'homme, et décharge à 3 mètres de l'orifice du puits).	»	2.50	4.50	3.75
VI. *Souterrain de Montretout, chemin de Paris à Versailles.* (Terrain mélangé de couches marneuses, de sable et de grès). . .	»	»	»	»

DÉSIGNATION.	SECTION moyenne de l'excavation.	HEURES DE		
		mineurs ou piocheurs.	chargeurs ou rouleurs.	manœuvres aux treuils.
1° *Fouille des galeries d'axe.* (Fouille, charge, transport sous galerie à des distances de 0 à 10 mètres, montage au treuil à bras d'homme, à une hauteur de 10 mètres, décharge à 5 mètres de l'orifice)	m. c. 3.70	h. 4.00	h. 5.00	h. 4.00
2° *Fouille pour la reprise en sous œuvre des pieds-droits.* (Fouille, charge, transport sous galerie, en brouette ou camion, à des distances de 0 à 30 mètres, montage à 10 mètres de hauteur au treuil à bras, et décharge à 5 mètres du puits)	»	5.00	7.50	5.00
VII. *Souterrain de Revin, canalisation de la Meuse.* (Roche schisteuse feuilletée, avec rognons de quartz; extraction à la mine, compris transport sous galerie, enlèvement aux extrémités et montage par des puits de 30 mètres de hauteur moyenne)	45.00		»	
1° *Excavation de la galerie en grande section*	»		58.00	
2° *Excavation des puits, des galeries latérales, des galeries d'axe,* etc. (Le temps du mineur a été les 0,35 du temps total)	»		150.00	
VIII. *Souterrain de Han, canalisation de la Meuse.* (Roche calcaire, à grain fin, d'un gris bleu; extraction à la mine, compris transport sous galerie, enlèvement aux extrémités et montage par des puits de 32 mètres de hauteur moyenne)	45.00		»	
1° *Excavation de la galerie en grande section*	»		57	
2° *Excavation des puits, des galeries latérales, des galeries d'axe,* etc. (Le temps du mineur a été les 0,40 du temps total)	»		122	

Outre la dépense de main-d'œuvre proprement dite de percement, la construction des souterrains en exige d'autres qui sont proportionnelles aux nombres du tableau suivant, la dépense totale étant représentée par 1,00.

1° *Pour des souterrains excavés dans des terrains pour lesquels le blindage et les revêtements sont nécessaires*, comme au souterrain de Saint-Cloud, par exemple :

Terrassement proprement dit (le prix de la journée du terrassier étant de 3 francs)	0,215
Charpente (blindage et cintres)	0,325
Maçonnerie	0,360
Épuisements et travaux pour l'écoulement des eaux	0,036
Frais généraux	0,064
	1,000

2° *Pour des souterrains excavés dans le rocher, n'exigeant ni blindage ni revêtements accidentels*, tels que le souterrain de Revin :

Main-d'œuvre d'excavation (prix moyen de la journée 2 fr. 30 c.)	0,666
Fourniture de poudre	0,095
Acquisition et réparation d'outils	0,155
Matériel de roulage (planches, brouettes, etc.)	0,031
Charpente pour blindage et étayement, rigoles d'écoulement des eaux et dépenses diverses	0,053
	1,000

POUSSÉE DES TERRES. MURS DE SOUTENEMENT.

714. *Murs de soutenement.* L'épaisseur à donner à ces murs varie elon la poussée de terres à soutenir, poussée qui dépend de l'incliaison du talus affecté par ces terres lorsqu'elles sont abandonnées ı elles-mêmes.

Supposons, figure 32, planche III, que les terres à soutenir aient *ce* pour talus naturel. Supposant que le prisme *bce* soit d'un seul morceau, il se maintiendra en équilibre sans exercer aucune poussée sur e mur *abcd*; mais si nous considérons un prisme *bcf*, il est évident qu'il exercera contre le mur une poussée due à son poids, et dimiuée par le frottement des terres sur le talus *cf* et par la cohésion cette cohésion peut être considérée comme nulle pour les terres remuées, comme le sont généralement celles que l'on rapporte derrière les murs de soutenement, et nous allons d'abord la supposer elle dans ce qui suit); si maintenant nous considérons un prisme rès-mince le long du parement *cb*, il est évident qu'il exercera contre e mur une poussée moindre que celle du prisme *bcf*. Il existe donc, entre le prisme qui s'applique sur le talus *ce* et le prisme infiniment mince pris contre le parement *cb*, un prisme qui doit exercer une plus grande poussée que tous les autres que l'on peut considérer entre ces deux limites.

On prouve facilement, mais par des calculs assez longs et que nous ne pouvons rapporter ici, que le prisme de plus grande poussée est déterminé par la bissectrice de l'angle formé par la verticale *cb* et le alus naturel *ce*.

Supposant l'angle $bcf = \frac{1}{2}\alpha$, le prisme *bcf* est celui de plus grande poussée, et on a

$$Q = \frac{\delta h^2}{2} \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2}\alpha. \qquad (a)$$

Q poussée des terres contre le parement vertical *bc*;
δ poids du mètre cube de terre;
h hauteur *bc* des terres derrière le mur;
α angle de la verticale *bc* avec le talus naturel *ce*.

Dans le cas où le frottement et la cohésion sont nuls, ce qui a lieu pour les liquides, l'angle α est droit, on a $\operatorname{tang} \frac{1}{2}\alpha = 1$, et, par suite,

$$Q = \frac{\delta h^2}{2}.$$

Il s'agit de déterminer le point d'application de la poussée totale Q. Comme on démontre que cette poussée totale sur le parement du mur

peut être représentée par la surface d'un triangle dont la hauteur est h, et dont la base et les parallèles à cette base représentent les pressions au pied du mur et sur les divers points respectifs de la hauteur de son parement, il en résulte que la résultante Q de toutes les pressions est appliquée au centre de gravité du triangle, c'est-à-dire à 1/3 de h à partir du pied c du mur (*Int.*, 1444).

Il y aura équilibre statique quand le moment de la force Q, pris par rapport à l'arête extérieure du mur, sera égal au moment du poids du mur, pris par rapport à cette arête, c'est-à-dire quand on aura

$$\frac{\delta h^3}{6}\operatorname{tang}^2\frac{1}{2}\alpha=\delta'\left[\frac{nh^2}{2}\times\frac{2nh}{3}+hx\left(nh+\frac{x}{2}\right)+\frac{n'h^2}{2}\left(nh+x+\frac{1}{3}n'h\right)\right],$$

équation du second degré qui donne la valeur x, laquelle est, en simplifiant,

$$x=h\left[-\left(n+\frac{n'}{2}\right)\pm\sqrt{\frac{\delta}{3\delta'}\operatorname{tang}^2\frac{1}{2}\alpha+\frac{n^2}{3}-\frac{n'^2}{12}}\right]$$

δ' poids du mètre cube de maçonnerie;

n fruit du parement extérieur par mètre de hauteur du mur;

$\delta'\ \dfrac{nh^2}{2}\times\dfrac{2nh}{3}$ moment du massif formant le fruit du parement extérieur;

x largeur du mur à sa partie supérieure;

$\delta'hx\left(nh+\dfrac{x}{2}\right)$ moment du massif de mur compris entre ceux qui forment les fruits;

n' fruit, par mètre, du parement intérieur du mur;

$\delta'\ \dfrac{n'h^2}{2}\left(nh+x+\dfrac{1}{3}n'h\right)$ moment du massif de maçonnerie formant le fruit du parement intérieur.

Nous avons négligé le prisme de terre compris entre le parement intérieur et la verticale passant par le pied du mur; mais comme le parement intérieur se fait par retraites horizontales, ce prisme de terre ajoute, par son poids, à la stabilité du mur au lieu d'y nuire.

Lorsque les parements du mur sont verticaux, les valeurs de n et n' sont nulles, et la formule précédente devient

$$x=h\operatorname{tang}\frac{1}{2}\alpha\sqrt{\frac{\delta}{3\delta'}}.$$

Lorsque le mur résiste à un fluide, on a $\operatorname{tang}\frac{1}{2}\alpha=1$, et par suite

$$x=h\sqrt{\frac{\delta}{3\delta'}}.$$

Si le prisme de plus grande poussée était chargé d'un cavalier, à $\frac{\delta h^2}{2}$ il faudrait ajouter ph dans la valeur de Q (p poids du cavalier sur

ité de surface du terrain), de sorte que le moment de cette poussée iendrait

$$\frac{h^2}{6} \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha (\delta h + 2p),$$

a formule (*b*) donnerait

$$x = h \left[-\left(n + \frac{n'}{2}\right) \pm \sqrt{\frac{\operatorname{tang}^2 \frac{1}{2}\alpha}{3\delta'}\left(\delta + \frac{2p}{h}\right) + \frac{n^2}{3} - \frac{n'^2}{12}} \right].$$

.e mur doit pouvoir résister non-seulement au renversement, mais si au glissement sur sa base ; il faut donc que la poussée Q des res soit moindre que le frottement de glissement augmenté de la ésion entre le mur et sa base, et que par conséquent, pour l'équire statique, on ait

$$\frac{\delta h^2}{2} \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha = k\delta' \left(\frac{nh^2}{2} + hx + \frac{n'h^2}{2}\right) + c(nh + x + n'h),$$

ù l'on tire

$$x = \frac{h^2}{2} \times \frac{\delta \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha - (n + n') \left(k\delta' + \frac{2c}{h}\right)}{k\delta' h + c}.$$

valeurs de δ et de δ' sont données au n° 46 ;

Quant à la valeur de l'angle α, sous lequel les terres coulantes s'éboulent, il conent de la déterminer directement, en creusant la terre. Pour le sable fin très-sec, on $=60°$; pour la terre sèche et pulvérisée, $\alpha=46°,50$; pour la terre humectée, $=54°$ et pour les terres les plus fortes et les plus denses, $\alpha=35°$; valeur qui correspdent respectivement, pour des profondeurs d'excavation représentées par 1, à des es de talus 1,78. 1 86, 1,05 et 0,69.

: coefficient du frottement du mur ou d'un massif sur sa fondation. Quand la fondation un rocher naturel ou quand elle est en beton, on a $k=0,76$; si le mur ou massif ose sur le sol naturel (terre ou sable), $k=0,57$, et s'il repose sur un fond argileux et à être détrempé par les eaux, $k=0,30$ environ.

Ordinairement on fait $k=0,76$ pour la maçonnerie sur elle-même. Quelques observions font baisser la valeur de k à 0,57 quand le mortier est frais, et la portent, au traire, à 1,00, quand le mortier, de moyenne qualité, a fait prise; cela pour la manerie de moellons comme pour celle de pierre de taille (62).

c cohésion du mur ou d'un massif sur sa base par mètre carré de cette base. Si cette se est en béton, $c=40\,000$ à $144\,000$, selon que le mortier employé est de médiocre d'excellente qualité ; la maçonnerie n'ayant aucune cohésion avec un sol de terre ou sable, on doit faire $c=0$ dans la formule quand le mur repose directement sur le sol. ne tient généralement pas compte de la cohésion c dans l'établissement des murs massifs soumis à une poussée horizontale comme les murs de soutenement ou s piliers des ponts suspendus, la prise du mortier pouvant n'être pas complète quand poussée commence à agir (733).

Quand le mur descend au-dessous du sol sur les deux faces, comme ela a généralement lieu, on conçoit que la butée des terres contre seconde face s'oppose au renversement et au glissement. On cal-

culera cette butée à l'aide de la formule (a), dans laquelle on remplacera la hauteur h, comptée depuis le pied de la fondation, par la profondeur h_1 de la fondation, et la différence entre les valeurs des moments Q et Q′, pris par rapport au pied de la fondation du mur, formera le premier membre de la formule (b), qui fournira encore l'épaisseur x. Le frottement du mur sur sa base devra encore être supérieur à Q—Q′. Il y aurait lieu encore de tenir compte du frottement des terres, frottement qui s'ajoute à Q′ pour s'opposer au mouvement du mur (719).

Quand les terres ont de la cohésion, la valeur de la poussée horizontale est

$$Q = \frac{\delta h}{2} \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha (h - h').$$

h' profondeur à laquelle on a creusé les terres à pic avant leur éboulement, la surface des terres ayant été dressée horizontalement.

On déterminerait l'épaisseur à donner au mur pour résister à cette valeur de Q, de la même manière que quand la cohésion est nulle ; il suffirait de remplacer dans les formules précédentes la valeur de Q (formule [a]), par cette nouvelle.

Toutes les formules précédentes fournissent l'épaisseur à donner au mur pour qu'il y ait équilibre statique ; mais il est évident que cette épaisseur ne suffit pas dans la pratique, et qu'on doit l'augmenter, pour obtenir une stabilité convenable, d'une quantité qui dépend de la nature de la fondation sur laquelle repose le mur ; car l'arête autour de laquelle le mur tend à tourner s'enfonce avec d'autant moins de peine, et le renversement est d'autant plus facile, que la fondation est plus compressible. Il conviendrait, par des observations sur les constructions existantes, ou par des expériences directes, de déterminer le coefficient par lequel il faut multiplier le moment d'équilibre statique du mur, pour avoir une stabilité convenable pour chaque nature de fondation. D'après Gauthey, les dimensions calculées à l'aide des formules précédentes, où l'on a fait abstraction de la cohésion des terres, peuvent être adoptées avec confiance dans la pratique, surtout si l'on exécute les remblais derrière les murs à mesure qu'on les élève, afin de donner aux terres le temps de se tasser et d'adhérer entre elles. Mais ces formules supposent que la base sur laquelle le mur est élevé est incompressible, et comme le défaut de soin et de précaution dans la fondation est une des causes les plus fréquentes de la destruction des murs de revêtement, et que la moindre inégalité dans le tassement peut faire sortir le mur de son aplomb, il convient presque toujours d'ajouter quelque chose à l'épaisseur donnée par les formules, et d'avoir égard à la nature de la fondation et à son degré de compressibilité pour fixer la largeur de l'empatement sur lequel le mur est établi.

, le cas où les terres que l'on rapporte derrière un mur sont tibles de changer d'état, soit par leur contact avec l'eau, soit ute autre circonstance, on doit y avoir égard ; bien des murs t écroulés pour avoir négligé ces circonstances.

que le mur est établi sur un sol très-mauvais, il convient que nent de stabilité du mur, pris par rapport à la ligne passant par eu de la base du mur, fasse équilibre au moment de la poussée rres ; car alors le mur pressant également en tous les points de se, le tassement est aussi uniforme que possible ; on obtient lisposition en donnant un grand fruit au parement extérieur.

r apprécier, en général, l'augmentation à donner à un mur de nement au delà de l'épaisseur statique, M. Mary, a imaginé de sur le profil du mur la courbe des pressions, comme on le fait les voûtes (698) ; on voit ainsi en quel point et sous quel angle courbe vient rencontrer la fondation. Dans le cas du renverse-, on calcule la surépaisseur de manière que la partie de la fonda-qui y correspond ne s'affaisse pas ou ne s'écrase par sous les 2/3 charge.

courbe se détermine en divisant le mur en tranches verticales gulaires ou rectangulaires, de manière à éviter la recherche des res de gravité de figures polygonales, et en composant la poussée erres ou de l'eau avec le poids de la première tranche ; cette pre-re résultante se compose elle-même avec le poids de la deuxième che, et ainsi de suite.

in d'augmenter le moment de stabilité du mur, on construit sou- des contre-forts sur le parement intérieur ; ces contre-forts ont re l'avantage de diviser le prisme de plus grande poussée.

orsque les contre-forts font partie du mur, pour déterminer l'épais-r de ce mur, on calcule isolément le moment de stabilité de la tie de mur qui correspond à un contre-fort, en considérant le tre-fort comme faisant partie du mur, et celui de la partie com-e entre deux contre-forts ; on ajoute ces deux moments, et on égale r somme au moment de la poussée calculée pour la longueur de sme correspondant à l'intervalle compris entre deux contre-forts.

orsque l'on fait des contre-forts indépendants, comme ceux en rre sèche, on calcule le moment de stabilité comme dans le cas cédent, mais sans avoir égard aux contre-forts, et on l'égale moment de la poussée pris pour l'intervalle de deux contre-ts.

'our que ce mode de calcul soit exact, les contre-forts doivent être ez longs pour atteindre la limite du prisme de plus grande poussée ; ns le cas contraire, on tiendrait compte de la poussée produite con- le contre-fort par la portion non atteinte de ce prisme.

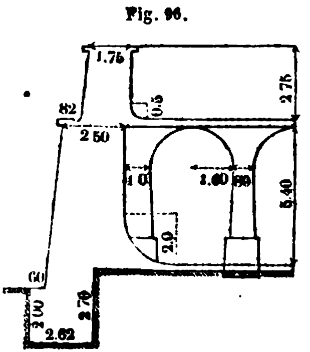
Les contre-forts isolés n'ayant pour objet que de rompre le prisme

de plus grande poussée, ils sont ordinairement employés dans les lieux où la pierre est très-abondante, et on les exécute en pierres sèches. C'est ce qui a été fait très-judicieusement dans divers circonstances sur le chemin de Saint-Germain, où l'on avait en abondance des mauvais moellons provenant des déblais et ne pouvant servir qu'à faire des remblais et des contre-forts abrités de la gelée.

Le mur de quai de Châlons, construit par Gauthey, a 5 à 6 mètres de hauteur; il a 0m,65 d'épaisseur en haut et 1m15 en bas, avec 1/12 de fruit sur le parement vu. Les contre-forts ont 1 mètre d'épaisseur et autant de saillie; ils sont distants de 5m,30 d'axe en axe; ils sont reliés par 3 étages de voûtes en décharge de 1m,60 de hauteur sous clef. Par cette disposition on a économisé 1/3 de la maçonnerie.

Dans les quais de Paris, on a rattaché aux murs des contre-forts distants de 6 mètres, ayant 2m,20 de longueur et 1m,20 à 1m,50 de largeur. Ils supportent des trottoirs qui ont 3 mètres, le parapet a 0m,50; mais on ne les a reliés que par une seule voûte placée à la partie supérieure. Cette disposition exige plus de maçonnerie que celle de Gauthey ; mais elle diminue les frais de construction de voûtes. Un motif indépendant de l'économie aurait dû engager à adopter ce système, c'est la facilité qu'il présente d'établir solidement les trottoirs sur les voûtes en décharge. Sur plusieurs quais de Paris, établis dans un autre système, il y a pendant longtemps des tassements dans les terres rapportées derrière les murs; de sorte que si l'on y établissait des trottoirs ils seraient continuellement dégradés pendant un grand nombre d'années par l'effet du tassement (*Art.* 252).

Fig. 96.



Profil des murs des bassins de Passy (*fig.* 96 à l'échelle de $\frac{1}{300}$). Un bassin de 2m,75 de profondeur est découvert et a pour fond une série de voûtes d'arêtes formant le ciel d'un autre bassin de 5m,40 sous clef. La capacité de ces deux bassins réunis est de 18 000 mèt. cubes. A côté se trouve un même système de bassins d'une égale capacité, puis un autre bassin découvert pouvant contenir 4 000 mètres cubes d'eau. La contenance totale des 5 bassins est ainsi de 40 000 mètres cubes environ. Les réservoirs découverts alimentent le bois de Boulogne, et ceux couverts sont destinés à envoyer une eau plus potable dans Paris.

Épaisseur à la clef des voûtes d'arêtes en plein cintre formant le fond du réservoir supérieur	0m,33
Distance d'axe en axe des piliers supportant les voûtes d'arêtes	4m,..

piliers au niveau des naissances des voûtes d'arêtes 0m,80
Id. id. des dés. . . . . 1 ,00
des dés . . . . 1 ,00
dés en haut 1m,20, au pied. . . . . 1 ,30
:s pilastres accolés aux murs, en regard des piliers, au niveau des
nces des voûtes d'arêtes. 1 ,00
r du radier, qui repose directement sur le sol, qui est très-solide. . 0 ,30
:ur des fondations des piliers au-dessous de la face supérieure du ra-
. . . . 0 ,50

ıme terre ne s'appuie contre les murs, dont les parements inté- sont verticaux, tandis que ceux extérieurs ont un fruit de ,e fond supérieur se raccorde avec le parement vertical par un de 0m,50 de rayon, et le fond inférieur par un congé de 2m,00 ron.

ı d'augmenter le moment de résistance du mur total, le pare- de la partie inférieure est en porte-à-faux de 0m,23 sur le pare- de la partie inférieure. C'est pour la même raison que la tion a été reculée; on a du reste proportionné sa largeur à la ion qu'elle supporte.

us les parements sont en meulière et le reste en moellons, le tout dé en mortier de chaux hydraulique. Les parties en contact avec sont couvertes d'un enduit en ciment de Vassy, de 0m,03 d'é- seur moyenne.

.EAU pour calculer les hauteurs et les bases des talus d'excavation, quand on connaît ılus naturel de la terre et la hauteur à laquelle on peut la couper à pic sans qu'elle s'éboule.
de-Mémoire portatif à l'usage des officiers du génie, par M. Laisné.)

	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60
0	2.95	2.40	2.11	1 92	1.80	1.71	1.64	1.59	1.55	1.52	1.49	1.47
5	4.30	3.19	2.65	2.34	2.14	1.99	1.89	1.82	1.95	1.70	1.66	1.65
0	6.84	4.43	3.42	2.89	2.57	2.35	2 19	2.08	1.99	1.91	1.86	1.81
0	28.30	10.37	6.36	4.72	3 88	3.36	3.02	2.78	2.60	2.46	2.35	2.26
0	Infini	43 30	14.98	8.83	6.38	5.11	4.34	3.84	3.48	3.22	3.02	2.87
0	....	Infini	62.77	20.86	11.93	8 41	6.63	5.53	4.83	4.33	3.97	3.69
0	....	....	Infini	87.57	28.26	15.77	10.90	8.42	6.96	6.00	5.33	4.84
5	....	....	....	356.96	51.54	23.26	14.63	10.69	8.52	7.16	6.25	5.60
0	....	....	....	Infini.	119.08	37.41	20.47	13.92	10.61	8.65	7.39	6.51
0	....	....	....	....	Infini.	157.59	48.55	26.65	17 51	13.18	10.65	9.01
0	....	....	....	....	....	Infini.	204.69	61.95	32 86	21.77	16.21	12.98
10	....	....	....	....	....	....	Infini.	260.64	79.01	40.81	26.75	19.74
20	....	....	....	....	....	....	....	Infini.	328.14	96 93	50.09	32.53

,es nombres de la ligne horizontale supérieure de cette table in- [uent la base du talus naturel des terres sur une hauteur égale à nité, et ceux de la première colonne verticale indiquent, aussi pour e hauteur égale à l'unité, la base du talus d'excavation.

Soit h' la hauteur, déterminée par une expérience, à laquelle on peut couper à pic sans qu'elle s'éboule.

On peut, avec cette table, résoudre de suite deux questions:

1° *Quelle est la hauteur* h *qu'on peut donner à une excavation avec une base déterminée de* $0^m,40$ *par mètre de hauteur, le talus naturel des terres étant connu, et égal à* $1^m,10$, *par exemple ?*

Solution : La hauteur cherchée sera h', multipliée par le nombre 3,02 qui fait à la fois partie des colonnes verticale et horizontale dans lesquelles se trouvent respectivement la base du talus naturel des terres $0^m,40$, et celle du talus d'excavation $1^m,10$. Ainsi pour $h'=3^m,00$, on aura $h=3^m,00\times3,02=9^m,06$, et par suite, la base totale du talus de l'excavation sera $0^m,40\times9,06=3^m,624$.

2° *Quel est le talus le plus roide qu'on peut donner à une excavation d'une hauteur déterminée* $h=9^m,06$, *le talus naturel des terres étant connu, et de* $1^m,10$, *par exemple ?*

Solution : Divisez la hauteur $9^m,06$ de l'excavation par h' (soit par 3), cherchez le nombre 3,02, égal ou immédiatement supérieur au quotient obtenu 3,02, dans la colonne verticale qui contient la base du talus naturel 1,10 des terres, et la base du talus cherché sera le nombre $0^m,40$ qui lui correspondra horizontalement dans la colonne des bases des talus d'excavation. Le talus total de l'excavation sera alors $0^m,40\times9,06=3^m,624$.

Pour plus de sûreté, il faudra toujours prendre h moindre que la valeur donnée par l'expérience, quand même celle-ci aurait duré plusieurs mois.

715. *Murs de revêtement.* D'après Vauban, les profils des murs de rempart sont convenables lorsque le moment de la résistance est des 4/5 plus fort que celui de la poussée des terres. C'est pour cette résistance que M. Poncelet a donné la formule empirique suivante pour calculer l'épaisseur des revêtements pleins à parements verticaux,

$$x=0,845\,(\mathrm{H}+h)\,\mathrm{tang}\,\frac{1}{2}\,\alpha\sqrt{\frac{\delta}{\delta'}},$$

qui devient, pour le cas des maçonneries moyennes,

$$x=0,285\,(\mathrm{H}+h).$$

x épaisseur du mur ;
H hauteur du revêtement ;
h hauteur entière de la surcharge ;
α angle du talus naturel des terres avec la verticale (714) ;
δ poids du mètre cube de terre ;
δ' poids du mètre cube de maçonnerie.

Ces formules sont applicables dans les limites de $h=0$ et $h=\mathrm{H}$, qui correspondent aux surcharges ordinaires de la pratique.

le parement extérieur, au lieu d'être vertical, avait une inclinai- moindre que 1/6, on prendrait l'épaisseur déduite de la formule édente pour celle du revêtement cherché, mesurée à 1/9 de la eur à partir de la base. Cette règle est fondée sur le principe ant :

incipe général de transformation d'un profil en un autre, d'après ban. Tous les profils de revêtements à parement intérieur ver- , de même hauteur et même stabilité, mais dont les parements rieurs sont inclinées à moins de 1/6 sur la verticale, ont, à 1/120 , la même épaisseur au 1/9 de leur hauteur à partir de la base ; il résulte que, jusqu'à cette limite, pour transformer un profil en utre, il suffit de faire tourner le parement extérieur donné au- d'un horizontale comme axe, jusqu'à ce qu'il ait l'inclinaison ue, cette horizontale étant tracée dans le parement donné, et au le sa hauteur.

orsque l'inclinaison du talus extérieur varie de 0 à 1/5, la même ité a encore lieu, mais seulement à 1/71 près.

TABLE donnant les épaisseurs x des revêtements pour les diverses terres et maçonneries, avec ou sans berme, et pour des hauteurs de surcharges qui dépassent les limites ordinaires de la pratique; ces épaisseurs étant calculées en prenant la hauteur H des revêtements verticaux pour unité, et dans l'hypothèse de la rotation, et d'une stabilité équivalente à celle du revêtement modèle de Vauban, sans contre-forts.

Les lettres x, H, h, δ et δ' ont les mêmes significations que dans les formules précédentes, et $f = \text{tang}\,\alpha$; f varie de 0,6 à 1,4, suivant que les terres sont légères ou très-fortes, et $f = 1$ pour les terres moyennes pour lesquelles $\alpha = 45°$ (71).

VALEUR de $\frac{h}{H}$	VALEUR DE x pour $\frac{\delta'}{\delta} = 1$, $f = 0.6$, la berme étant nulle.	0.2H	VALEUR DE x pour $\frac{\delta'}{\delta} = 1$, $f = 1.4$, la berme étant nulle.	0.2H	VALEUR DE x pour $\frac{\delta'}{\delta} = 1.5$, $f = 1$, la berme étant nulle.	0.2H	totale.	VALEUR DE x pour $\frac{\delta'}{\delta} = \frac{5}{3}$, $f = 0.6$, la berme étant nulle.	0.2H	VALEUR DE x pour $\frac{\delta'}{\delta} = \frac{5}{3}$, $f = 1.4$, la berme étant nulle	0.2H
0.0	0.452	0.452	0.258	0.258	0.270	0.270	0.270	0.350	0.350	0.198	0.198
0.1	0.498	0.507	0.282	0.290	0.303	0.306	0.303	0.393	0.398	0.222	0.223
0.2	0.548	0.563	0.309	0.326	0.336	0.342	0.326	0.439	0.445	0.249	0.262
0.3	0.604	0.618	0.338	0.364	0.368	0.375	0.343	0.485	0.489	0.274	0.283
0.4	0.665	0.670	0.369	0.394	0.399	0.405	0.357	0.532	0.522	0.303	0.295
0.5	0.726	0.717	0.402	0.423	0.436	0.434	0.368	0.579	0.549	0.332	0.311
0.6	0.778	0.754	0.436	0.450	0.477	0.457	0.377	0.617	0.572	0.360	0.325
0.7	0.824	0.790	0.472	0.476	0.512	0.481	0.385	0.645	0.593	0.387	0.341
0.8	0.867	0.820	0.510	0.504	0.544	0.504	0.394	0.668	0.640	0.413	0.357
0.9	0.903	0.848	0.541	0.524	0.575	0.523	0.398	0.690	0.624	0.437	0.371
1.0	0.930	0.873	0.571	0.546	0.605	0.540	0.405	0.707	0.636	0.457	0.384
1.2	0.983	0.916	0.632	0.586	0.654	0.574	0.411	0.737	0.655	0.498	0.410
1.4	1.023	0.945	0.684	0.624	0.696	0.602	0.416	0.762	0.672	0.537	[illegible]
1.6	1.056	0.970	0.730	0.658	0.734	0.622	0.420	0.780	0.685	0.566	[illegible]
1.8	1.084	0.990	0.772	0.690	0.769	0.640	0.423	0.797	0.697	0.594	[illegible]
2.0	1.107	1.004	0.812	0.714	0.795	0.655	0.425	0.811	0.705	0.622	[illegible]
2.5	1.151	1.037	0.902	0.778	0.848	0.690	0.434	0.833	0.722	0.684	[illegible]
3.0	1.180	1.060	0.981	0.835	0.892	0.717	0.435	0.852	0.731	0.736	0.531
3.5	1.203	1.074	1.047	0.883	0.928	0.738	0.438	0.862	0.737	0.765	0.551
4.0	1.222	1.084	1.105	0.926	0.957	0.755	0.442	0.872	0.742	0.806	[illegible]
4.5	1.237	1.093	1.158	0.962	0.981	0.768	0.444	0.878	0.747	0.833	[illegible]
5.0	1.247	1.101	1.206	0.994	1.002	0.779	0.445	0.883	0.751	0.862	0.596
5.5	1.254	1.109	1.250	1.021	1.019	0.788	0.447	0.886	0.756	0.885	[illegible]
6.0	1.259	1.116	1.290	1.047	1.034	0.796	0.448	0.891	0.759	0.903	0.617
7.0	1.269	1.122	1.357	1.087	1.059	0.811	0.449	0.898	0.764	0.941	0.633
8.0	1.276	1.128	1.415	1.121	1.079	0.822	0.451	0.903	0.768	0.968	0.646
9.0	1.280	1.133	1.465	1.153	1.095	0.830	0.452	0.906	0.770	0.992	[illegible]
10.0	1.283	1.137	1.508	1.182	1.109	0.839	0.453	0.909	0.771	1.013	[illegible]
15.0	1.298	1.150	1.662	1.271	1.149	0.864	0.455	0.917	0.777	1.058	[illegible]
20.0	1.309	1.156	1.757	1.327	1.174	0.878	0.456	0.922	0.780	1.129	[illegible]
25.0	1.312	1.160	1.821	1.363	1.185	0.887	0.457	0.924	0.782	1.146	[illegible]
30.0	1.316	1.162	1.866	1.389	1.194	0.894	0.458	0.926	0.783	1.171	[illegible]
Infini.	1.337	1.176	2.144	1.541	1.243	0.927	0.461	0.934	0.789	1.279	[illegible]

Application. Quelle doit être l'épaisseur d'un mur de quai

res de hauteur, le poids du mètre cube de terre et de maçon-
étant respectivement 1500 et 2250 kilog., et $\alpha = 45°$, ou $f =$
$= 1$?

nt $\frac{h}{H} = \frac{0}{7} = 0$, et $\frac{\delta'}{\delta} = \frac{2250}{1500} = 1,5$, le tableau donne $x = 0,270$.
isseur du mur en mètres sera alors

$$0,270 \times 7 = 1^m,89.$$

les valeurs de f et de $\frac{\delta'}{\delta}$ différaient notablement de celles de la
, on prendrait pour x une valeur proportionnelle entre celles de
ble qui correspondent aux nombres les plus rapprochés des
ées.

6. *Épaisseur des batardeaux en maçonnerie.* Cette épaisseur se
ile par une formule semblable à celle qui donne l'épaisseur d'un
de revêtement (716); ainsi on a, en remarquant que dans ce cas
: négatif, et que $\delta = 1000$ kilog.,

$$x = 0,845\,(H - h)\sqrt{\frac{1000}{\delta'}}.$$

ıme au devant des barrages de rivières et de cours d'eau natu-
il peut se former des atterrissements dont la poussée est plus
nde que celle de l'eau, il faudrait, dans ce cas, faire $\delta = 1800^k$,
est le poids moyen des terres mouillées (619).

17. *Barrages ou digues en maçonnerie.* Navier a donné les deux
nules suivantes pour calculer l'épaisseur des murs devant théo-
ıement faire équilibre à la poussée de l'eau, cette épaisseur étant
nème sur toute la hauteur du mur :

$$x = 0,59h\sqrt{\frac{\delta}{\delta'}}, \qquad x' = \frac{h}{2F} \times \frac{\delta}{\delta'}. \qquad (a)$$

ι x' épaisseurs à donner au mur pour résister théoriquement, la première au renversement, la seconde au glissement;
hauteur totale depuis la base de la fondation;
ι δ' densités de l'eau et de la maçonnerie;
rapport du frottement à la pression, eu égard à la résistance du terrain en aval de la fondation.

Dans les cas les plus défavorables, les formules précédentes don-
nt $x = 0,41h$ et $x' = 0,50h$.

On se trouve dans de bonnes conditions pratiques, en calculant
paisseur par les formules (a), dans lesquelles on a substitué les
leurs qui se rapportent au cas que l'on considère, et en doublant
paisseur trouvée.

718. *Épaisseur des murs en pierres sèches.* On prend ordinaire-
ıent pour cette épaisseur 1/4 en sus de celle que donneraient les

formules précédentes pour un revêtement en maçonnerie de même hauteur et placé dans les mêmes circonstances.

719. F étant l'excès de la poussée Q sur le frottement, le tout calculé au niveau du sol, on donne, pour déterminer la profondeur h_1 à laquelle il faut descendre la fondation pour résister avec sécurité au glissement, la formule

$$h_1 = 1,4 \text{ tang} \frac{1}{2} \alpha \sqrt{\frac{2F}{\delta}}. \qquad (a)$$

α est l'angle de la verticale avec le talus naturel des terres, δ est le poids du mètre cube de ces terres. Sur un sol de sable argileux, qui est celui où le glissement est surtout à craindre, on aurait environ $\alpha = 60°$, $\delta = 1500$, et 0,30 pour le coefficient du frottement du mur sur le sol (714).

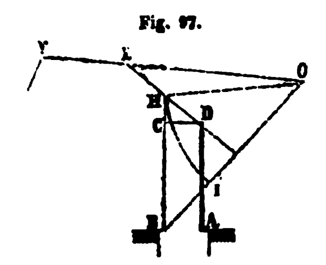
Cette formule est également applicable aux fondations des batardeaux et des réservoirs.

Nous avons vu au n° 714 comment l'on calcule la poussée Q, et le frottement du mur sur sa base; on a donc le moyen de déterminer F.

Ainsi, ayant calculé l'épaisseur du mur, comme on l'a fait, application du n° 715, au niveau du sol inférieur, on détermine F; puis la formule précédente (*a*) donne la profondeur h_1, à laquelle il faut descendre la fondation.

720. On donne aussi pour déterminer la poussée Q, le procédé graphique suivant (*fig.* 97) :

Fig. 97.



On abaisse du pied intérieur B du mur une perpendiculaire sur la direction du talus naturel ED des terres, et on la prolonge jusqu'à la rencontre de la plongée FE en O. Déterminant le point de rencontre H de BC avec ED, et prenant OI = OH, on a la poussée

$$Q = \frac{1}{2} \delta \times (BI)^2.$$

Le point d'application de la poussée Q se trouve moyennement à 0,35BH à partir du point B.

PONTS EN BOIS.

721. *Ponts en charpente.* Ces ponts, lorsqu'ils sont d'une certaine importance, doivent être établis sur piles et culées en pierre; pour une communication de moindre importance, on fait ordinairement les supports en bois, surtout ceux intermédiaires. Cependant, avant de donner la préférence au bois, il faut avoir égard aux interruptions de passage que nécessiteront les réparations plus fréquentes, à la

ıre durée du pont, aux difficultés que l'on rencontrera pour r les supports en pierre et en bois, à la plus ou moins grande ır de débouché que l'on obtient suivant que l'on emploie le ›u la pierre, à la moins grande résistance que les palées prént aux énormes glaçons que charient quelques rivières, et aux les matériaux employés (722).

ıs ne pouvons entrer dans tous les détails de construction des ; en bois, dont la forme d'ensemble et les dispositions des dis pièces de charpente peuvent varier à l'infini. Dans une telle truction, l'ingénieur doit étudier avec soin de quelle manière tent les différentes pièces, afin d'en bien proportionner les disions, et combiner les pièces entre elles de manière à former des mbles capables de résister à tous les efforts qui peuvent les solər dans les diverses directions.

ıand le cours d'eau est sujet aux débâcles, il est indispensable ›réserver les palées par une pièce de bois inclinée servant de ɔeau à plusieurs pieux, et formant avec eux un ensemble isolé a palée. Ce chapeau s'élève du dessous du niveau des basses eaux lessus de celui des plus hautes; sa surface supérieure est formée leux plans inclinés, dont on arme l'intersection par une barre de contre laquelle viennent se briser les glaces.

Ious avons vu, page 941, comment on calcule les dimensions des ırpentes en arc de cercle. Pour des arcs surbaissés semblables à ıx employés comme travées de ponts, on calculera la section à de des formules suivantes :

• Arcs dont la section transversale est un rectangle plein dont b h sont les dimensions horizontales et verticales :

$$bh^2 = \frac{P}{2R}\left(\frac{h}{s} + \frac{s^3 l}{4}\right);$$

2° Arcs dont la section transversale est une ellipse creuse (page 302), nt b, b' sont les demi-axes horizontaux, et h, h' les demi-axes veraux :

$$bh^3 - b'h'^3 = \frac{P}{2R}\left(\frac{bh^3 - b'h'^3}{3,1416\,(bh - b'h')s} + \frac{s^3 lh}{18,849}\right).$$

P et l ont les mêmes significations que page 941, ainsi que R, qui prend encore les leurs 300 000 et 5 000 000, suivant qu'on fait usage de bois ou de métal.

s est la longueur en mètres de l'arc ayant 1 mètre de rayon et correspondant à l'angle centre qui correspond à l'arc du pont.

On a respectivement, pour les rapports de la demi-ouverture c de l'arc à sa flèche f,

=	2	3	4	5	10	15	20
=	0.925	0.641	0.489	0.376	0.324	0.280	0.105
=	0.792	0.263	0.147	0.053	0.034	0.022	0.004

Le rayon l de l'arc est du reste donné par la formule

$$l=\frac{c^2+f^2}{2f}.$$

Le tracé de la courbe des pressions éclairera, quant à la stabilité des arcs en bois ou en métal, comme pour la pierre (698).

PONTS MÉTALLIQUES.

722. *Ponts en métal.* Les fermes des ponts peuvent être faites en fer ou en fonte, ou avec ces deux métaux réunis, ou encore avec ces deux métaux combinés séparément ou ensemble avec le bois. Dans ces sortes de fermes, il convient de n'employer la fonte que pour supporter des efforts de pression. Ces fermes métalliques s'établissent sur des piles et culées en pierre, qui doivent s'élever jusqu'au tablier du pont, afin que les vibrations d'une arche ne se transmettent pas aux autres. Cette précaution doit être prise également pour les ponts en bois.

Les fermes en fonte sont ordinairement en arc de cercle, et composées d'un certain nombre de voussoirs plus ou moins longs.

Supposant que la pression s'exerce perpendiculairement à la section normale à l'arc et uniformément en tous les points de cette section, et supposant de plus que l'arc de cercle se confond avec l'arc de parabole passant par le sommet et par les naissances, on a (724 et 725) :

$$Q=\frac{pd^2}{2f},$$

$$T=\sqrt{Q^2+p^2d^2}=\frac{pd}{2f}\sqrt{d^2+4f^2}.$$

p poids total, y compris la surcharge, par mètre de longueur du pont;
d demi-ouverture du pont;
f flèche ou montée de l'arc;
T pression totale exercée normalement à la section transversale de l'arc aux naissances;
Q composante horizontale de T.

C'est de la formule précédente que M. Poirée, ingénieur des ponts et chaussées, a tiré les résultats du tableau suivant.

L'examen de ce tableau montre que la plus grande charge, 4k,40 par millimètre carré de section, est fourni par l'ancien pont d'Austerlitz, qui a duré pendant plus de 40 ans, mais en exigeant souvent des réparations de détails (706). Le pont le plus chargé ensuite est celui du chemin de fer d'Avignon à Marseille, 3k,36 par millimètre carré, et il paraît se comporter parfaitement depuis 1855, date de sa construction. Vient ensuite le pont de Villeneuve-Saint-Georges, qui paraît avoir très-bien résisté à toutes les causes de fatigues.

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	Nombre d'arches.	Nombre d'arcs par arche.	ESPACEMENT des arcs.	MODE de construction.	Poids approximatif d'une travée, tout compris.	Ouverture de chaque arche.	Flèche.	HAUTEUR des arcs.	Section des arcs ensemble par arche.	Pression par mill carré, sous le poids de la construction.	PRESSION par millimètre carré, en ajoutant une charge accidentelle au poids de la construction.
			m		tonnes.	m	m	m	m.q.	k	k
Pont d'Austerlitz, à Paris. .	5	7	1.95	Arcs en voussoirs évidés.	625	32.50	3.25	1.25	0.212	3.95	4.40 avec une surcharge accidentelle de 200 kil. par mètre carré.
Pont du Carrousel, à Paris.	3	4	2.80	Syst Polonceau, arcs en tubes elliptiques.	546	47.00	4.90	0.84	0.58	1.9	2,31 *id.*
Viaduc du canal St-Denis (chemin de fer du Nord). .	1	4	2 10 sous les voies 1.30 entre les voies.	*id.*	246	34.22	3.45	0.84	0.294	1.03	1.81 avec une surch. accid. de 6000 kil. par mètre courant de pont.
Viaduc de Villeneuve-Saint-Georges (chemin de fer de Lyon).	3	7	1.34	Arcs en plaques double T.	383	15.00	1.50	0.35 à la clef. 0 70 aux naissances.	0.244 0.281	1.75 1.88	2.59 *id.* 2.81 *id.*
Viaduc du Mée, *id.*	3	7	1.34	*id.*	824	40.00	5.00	1.75	0.508	1.81	2.34 *id.*
Viaduc de la gare de Charenton. *id.*	2	7	1.34	*id.*	700	35 00	4.00	1.00	0.345	*id.*	» *id.*
Viaduc de Bernières (chemin de fer de Troyes). . .	3	6	1.13 sous les voies. 1.50 entre les voies.	*id.*	215	22.00	2.45	0.50	0.22	1.29	1.95 *id.*
Viaduc de Montereau (chemin de fer de Troyes). . .	4	6	1 15 sous les voies. 1.50 entre les voies.	*id.*	240	24.60	3.13	*id.*	*id.*	*id.*	» *id.*
Viaduc de Nevers.	7	7	1.31	*id.*	800	42.00	4.55	1.15	0.30	2.00	2.7 *id.*
Viaduc du Rhône (ch. de fer d'Avignon à Marseille).	7	8	1.25	*id.*	1800	60.00	5.00	1.70	1.016	2.8	3.36 *id.*
Viaduc de la Mulatière (à Lyon).	4	9	1.20 sous les voies. 1.70 sous la route.	Syst. Polonceau.	600	40.14	4.50	»	0.720	1.00	1.44 pour les arcs sous les voies en fer.

Sur les chemins de fer, pour des portées qu'il convient de limiter à 8 mètres quand les ponts sont sous rails, on a beaucoup employé la fonte sous forme de poutres, dont on détermine les dimensions à l'aide des formules du n° 243.

Les fermes en fer sont le plus souvent en arc de cercle et composées ordinairement d'une seule pièce; on a cependant établi des fermes en fer droites et formées de barres droites composant des systèmes rigides.

Dans ces derniers temps on a beaucoup employé la tôle pour l'établissement des fermes de ponts de chemins de fer. Ces fermes sont généralement des poutres droites, dont la section, que l'on a variée d'un pont à un autre, se calcule à l'aide de la formule du n° 243; cependant, dans quelques constructions récentes, au pont d'Arcole, à Paris, par exemple, on a encore employé la tôle pour des fermes courbes.

La section des poutres en tôle est celle d'un rectangle creux, et pour les portées ordinaires elle est le plus ordinairement en double T, dont la tige et les nervures sont formées de plaques de tôle, le tout relié par des cornières en fer.

Comme les poutres en tôle ont une grande hauteur, leur face supérieure est ordinairement à un niveau supérieur à celui du plancher; elles servent assez souvent de parapet, et les deux voies du chemin de fer sont séparées par une poutre intermédiaire.

Des poutrelles ou entretoises en tôle à section double T reposent sur les nervures inférieures des poutres; sur ces entretoises on place des longrines qui supportent les rails et un plancher en bois sur lequel on étale un couche de sable.

Comme les poutres de tête ne sont chargées que d'un côté, pour éviter leur torsion, on les relie solidement par les entretoises, auxquelles on donne une certaine hauteur, et par suite une grande rigidité qui s'oppose à cette torsion. Sous ce point de vue, quand la hauteur le permet, il y a avantage à placer le plancher sur les poutres, qui peuvent alors être en plus grand nombre, de moindre section et plus maniables.

Exemples de quelques ponts en tôle :

Le premier pont en tôle établi en Angleterre, vers 1847, est formé de trois poutres creuses à section rectangulaire, entre lesquelles sont établies les deux voies du chemin de fer. Chaque poutre a $20^m,14$ de longueur et $18^m,28$ entre les culées; l'épaisseur de la tôle est de $0^m,0095$.

Les poutres de l'embarcadère flottant de Liverpool sont construites dans le même système. Elles ont $45^m,71$ de long; leur hauteur est de $1^m,67$ aux extrémités, et de $2^m,59$ au milieu; le corps de la poutre a $0^m,61$ d'épaisseur. La partie supérieure est divisée par une cloison en deux canaux rectangulaires ayant ensemble $0^m,76$ de largeur et $0^m,30$ de hauteur.

Un des plus beaux ponts à poutres creuses en tôle est celui qui vient d'être construit sur le Trent, à Grainsborough, pour le passage du chemin de fer de Manchester et de

ld. Ce pont est formé de deux travées de 46m,92 d'ouverture chacune. Les pou-
it 3m,65 de haut.

plus gigantesque construction en tôle est le pont-tube Britannia, construit par
phenson, pour le passage sur la crique de Conway et le bras de Menay du che-
e fer de Chester à Holyhead. Ce pont se compose de 4 travées; les 2 travées ex-
s ont 70m,09 de portée, les 2 travées moyennes offrent un débouché de 140m,26
ne. La longueur totale de l'ouvrage, y compris les piles et les culées, est de
30. Les vaisseaux à voile peuvent passer sous le pont avec tous leurs mâts de-
Ce pont se compose de deux tubes rectangulaires en tôle, dans chacun desquels
une des voies du chemin. Il a coûté le prix excessif de 40 000 fr. le mètre cou-
dont 24 000 fr. pour les fers seulement.

ique grand tube est formé d'une enveloppe extérieure, en plaques de tole de 1m,20
40 de long sur 0m,60 de large, et de 0m,0156 d'épaisseur au milieu du tube et
25 aux extrémités. Ces plaques sont rivées ensemble, et renforcées par des cor-
s de chaque côté des joints.

plafond du tube est formé de 8 tubes cellulaires, larges chacun de 0m,506 et hauts
m,525. Le plancher est composé de 6 tubes cellulaires de chacun 0m,6875 de lar-
sur 0m,525 de hauteur.

hauteur du tube, y compris les cellules du plancher et du plafond, est de 6m,68
extrémités et de 7m,65 au milieu ; sa largeur, comptée en dehors des plaques for-
t les parois latérales, est de 4m,20.

our permettre la libre dilatation du tube, les extrémités reposent sur 24 paires de
leaux en fer.

vant d'exécuter ce pont, par de nombreuses expériences sur des modèles au 1/6, on
onstaté que la résistance à la rupture par traction de la partie inférieure de la poutre
enait égale à la résistance à la rupture par compression de la partie supérieure,
sque la section de la partie inférieure était à celle de la partie supérieure dans le
port de 11 à 12 (n° 247).

Les chemins de Versailles, de Saint-Germain, de Rouen et de l'Ouest traversent la
ne, à Asnières, sur un pont en tôle composé de 5 travées, dont les deux extrêmes
t 31m,09 d'ouverture et les 3 autres 32m,70.

Les poutres en tôle sont des tubes à section rectangulaire de 2m,25 de hauteur ; elles
nt contreventées par des croix de Saint-André verticales en fer à section en E, et
ut et bas par des traverses en T, dont les supérieures portent la voie posée sur des
ngrines en bois. La voie se trouve au niveau de la face supérieure des poutres, dont
lles de rives, chargées seulement d'un côté, ne travaillent pas d'une manière très-
tisfaisante.

Le chemin de fer du Nord traverse le canal de l'Escaut sur un pont dont les poutres
ı tôle sont à double T. Il y a 2 travées de chacune 14m,33 d'ouverture. Les poutres de
te ont 1m,40 de hauteur, le corps a 0m,018 d'épaisseur, 0m,009 pour chacune des
uilles qui le composent; les semelles horizontales ont 0m,150 de largeur sur 0m,015
épaisseur; elles sont reliées au corps vertical par des cornières en fer solidement
ivées. Des consoles en fonte supportent les garde-corps en dehors des poutres, qui se
'ouvent ainsi chargées à peu près symétriquement de chaque côté. La poutre du milieu
st plus forte que celles de tête, en raison de la charge plus considérable qu'elle porte.
es poutrelles sont très-fortes; elles contreventent les poutres, et elles supportent des
ongrines sur lesquelles sont posés les rails. La voie est à peu près au niveau de la face
upérieure des poutres.

Ce qui suit est extrait d'une *Note sur les ponts en tôle du chemin le fer de ceinture*, publiée par M. Brame, ingénieur des ponts et chaussées, dans les *Annales*, année 1853.

Légende du tableau suivant.

1. *Pont sur l'avenue de Clichy.* Ce pont est supporté par 3 poutres reliées à leurs extrémités et dans l'intervalle par des entretoises. Les poutres et les entretoises sont en double T et formées de plaques de tôle reliées par des cornières en fer rivées. Sur les entretoises reposent les longrines supportant les rails, et un platelage recouvert d'une couche de sable. Les longrines ayant $0^m,15$ d'épaisseur, il en résulte que les poutres ne font saillie que de 0^m,[illegible] sur le niveau des rails.

2. *Pont sur la rue de l'Entrepôt.* Ce pont est biais à 75°; son tablier est analogue à celui du pont précédent; comme il est à 3 voies, il est supporté par 4 poutres, dont celles du milieu sont espacées de $3^m,36$ d'axe en axe.

3. *Pont sous le chemin de fer du Nord.* La hauteur disponible étant faible, on a dû restreindre celle des poutres, dont le nombre est de 5. Les rails sont encore placés sur longrines. Un platelage de $0^m,07$, reposant sur des fourrures en bois, est établi au niveau des longrines et des poutres, de sorte que les rails seuls sont en saillie. Une couche de sable recouvre le platelage.

4. *Pont supportant la route de Paris à Saint-Denis sur le chemin de fer de ceinture.* La chaussée supportée a 66 mètres de largeur, divisés en trois parties sensiblement égales; les deux extrémités sont réservées aux piétons; la partie centrale se compose d'une chaussée pavée de 8 mètres, et de deux chaussées latérales en empierrement de 7 mètres chacune de largeur.

Sous les contre-allées réservées aux piétons, la charpente du tablier a été composée de poutres en fer double T de $0^m,22$ de hauteur, réunies par des entretoises de même forme. Sur cette charpente, on a établi un plancher en tôle ondulée, que l'on a recouvert d'une couche de béton fin, puis du bitume sur lequel on marche.

Pour la partie de 22 mètres destinée au passage des voitures, et pour laquelle nous avons formé la 4e colonne du tableau suivant, les poutres sont en tôle comme pour les ponts précédents; elles sont également reliées par des entretoises en tôle; mais au lieu d'établir un platelage pour supporter la chaussée, on a fait des voûtes en briques reposant sur des coussinets placés sur les semelles inférieures des poutres. Ces voûtes ont $0^m,22$ d'épaisseur et 3^m,[illegible] de rayon.

Il n'y a que trois cours d'entretoises; mais entre la première et la deuxième poutre de chaque extrémité, il y a des entretoises supplémentaires pour résister à la poussée des voûtes.

Les extrados des voûtes sont au niveau des poutres; on a nivelé le tout avec du béton, que l'on a couvert d'une chape en bitume, sur laquelle repose la couche de sable, puis le pavé de $0^m,15$ d'épaisseur.

L'épaisseur totale de la chaussée, comptée du dessous des poutres, est de 0^m,[illegible] au milieu et de $0^m,65$ près des contre-allées. Le bombement est gagné sur la couche de sable.

5. *Pont du chemin d'Aubervilliers.* Ce pont, supportant une route vicinale peu importante, est établi suivant un biais de 71°. Il a une ouverture de $7^m,87$ suivant le biais et de 7^m,[illegible] normalement aux culées.

Le tablier se compose de deux poutres de tête parallèles à l'axe du chemin, et de huit entretoises parallèles à la voie de fer. Ces entretoises supportent un plancher analogue à ceux des ponts suspendus, et de $3^m,50$ entre les trottoirs.

6. *Pont du chemin de fer de Strasbourg.* Le chemin de ceinture passe sous la ligne de Strasbourg, qu'il rencontre sous un angle de 35°. L'ouverture du pont est de $7^m,40$ normalement aux culées.

Il était nécessaire, pour ne pas placer le chemin de ceinture trop bas, de diminuer autant que possible l'épaisseur du plancher. Pour cela, on a supporté le plancher à l'aide de trois poutres longitudinales reliées par des entretoises perpendiculaires à leur direction, et les longrines, qui ont $0^m.30$ sur $0^m,186$, au lieu de reposer sur les entretoises, sont placées dans des caissons en tôle et cornières reposant à leurs extrémités sur les semelles inférieures des entretoises. Les deux feuilles verticales du caisson sont fixées aux entretoises par des cornières, répartissant la charge sur toute leur hauteur. Le rail, qui fait seul saillie au-dessus des entretoises, répartit d'ailleurs la pression sur les longrines, forcément interrompues à leur rencontre avec les entretoises. Cette disposition est applicable à des portées beaucoup plus grandes sans qu'il soit nécessaire d'augmenter l'épaisseur du tablier.

DÉTAILS.			1	2	3	4	5	6
			m.	m.	m.	m.	m.	m.
Poutres.	Longueur totale		9.002	7.20	8 40	8 40	9.00	15.00
	Portée		8.002	6.20	7.40	7.40	7.87	»
	Écartement d'axe en axe		3 71	3.634	1.675	2.072	6.00	3.90
	Hauteur		0.80	0.70	0.508	0.45	0 60	1.00
	Épaisseur de la tôle verticale		0 01	0.01	0.01	0.012	0.01	0.01
	Poutres de têtes.	Largeur de la semelle horizontale	0.18	0.18	0.20	0.30	0.20	0.40
		Épaisseur. *id.*	0.025	0.021	0.025	0.02	0.01	0.027
	Poutres intermédiaires.	Largeur des semelles horizontales	0.30	0.18	0.265	0 30	»	0.40
		Épaisseur *id.*	0.026	0.0345	0.036	0.03	»	0.0405
	Cornières.	Largeur et hauteur totales	0 08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09
		Épaisseur	0.01	0.01	0.014	0.012	0.012	0.012
Entretoises.	Écartement d'axe en axe		1.286	1.164	1.20	2.05	1.22	2.00
	Hauteur		0.35	0.35	0.35	0.45	0.35	0.23
	Épaisseur de la tôle verticale		0.008	0.008	0.008	0.01	0.01	0.01
	Largeur des semelles horizontales		0.148	0.14	1.138	0.16	0.17	0.36
	Cornières.	Largeur et hauteur totales	0.07	0.07	0 065	0.07	0.08	0.08
		Épaisseur	0.01	0.01	0.01	0.01	0.012	0.012
Poids total du tablier			15500	18 000	18 500	250 000	9000	30 000

Calcul des poutres et entretoises. Pour les ponts 1 et 2, qui ont une faible portée, la surcharge maximum se réalise quand il y a une locomotive sur chaque voie, et que les roues motrices sont au milieu du pont. Pour une locomotive de 29 tonnes, si l'on admet que 17 tonnes reposent sur les roues motrices, et 6 tonnes sur chacune des autres paires de roues, dont les essieux sont espacés de 4 mètres (509), décomposant 6000 kilog. en deux forces appliquées l'une au milieu de la poutre et l'autre sur la culée, la première composante est, pour le pont n° 1, $6000 \times \frac{2,001}{4,001}$ soit 3000 kilog. (*Int.* 1390). La surcharge, appliquée au milieu du pont, équivalente à une locomotive, est donc 23000 kil. La poutre du milieu supporte alors la moitié du poids du tablier réparti uniformément sur toute sa longueur, plus une charge de 23000 kilog. agissant en son milieu; la formule du n° 243 donnera alors ses dimensions. Les poutres de rives agissent comme celle du milieu, mais seulement sous des charges deux fois plus faibles.

Quant aux entretoises, la surcharge la plus considérable se réalise quand les deux roues motrices passent dessus. Pour le pont n° 1, le poids appliqué au milieu de l'entretoise, équivalent à la charge transmise par les roues motrices, est, ces roues étant espacées de $1^m,50$ et l'entretoise ayant $3^m,71$ de longueur, $17000 \times \frac{1,105}{1,855}$, soit 10000 kilog. Près de cette surcharge le poids du tablier reposant sur l'entretoise étant négligeable, les formules du n° 241 sont applicables.

Pour le pont 3, on suit une marche analogue pour culculer les sections des poutres et des entretoises.

Pour le pont 6, qui est assez long, à cause de son biais, pour qu'une partie du tender ou d'une seconde locomotive s'y trouve en même temps que la première, on suit encore la même marche; mais on peut simplifier la question pour les poutres en supposant qu'une surcharge de 80 tonnes est répartie uniformément sur la longueur de chaque voie, indépendamment du poids du tablier (242).

Quant aux ponts 4 et 5, on calcule les poutres et les entretoises en supposant que la surcharge indépendante du poids du tablier est de 400 kil. uniformément répartis sur chaque mètre carré (242); c'est la charge d'épreuve.

Devis, rapporté au mètre superficiel, du tablier du pont n° 4 (route de Saint-Denis) *de 7m.40 d'ouverture.*

1° *Pour la chaussée proprement dite, qui a 22 mètres de largeur :*

	fr.
Tôle pour poutres et entretoises	94,666
Fonte pour sabots, plaques et retombées.	7,990
Plomb pour scellements.	4,676
Voûtes en briques hourdées en ciment	12,446
Cintres.	2,928
Chape en mortier	2,910
Chape en bitume.	5,000
Chaussée pavée	9,000
Prix du mètre carré de tablier pour chaussée . . .	139,596

2° *Pour les contre-allées :*

	fr.
Poutres, entretoises et boulons d'assemblage . . .	25,808
Plaques en fonte.	0,945
Tôles ondulées	12,565
Fers méplats, cornières, etc.	1,927
Chape en béton.	2,910
Bitume	5,000
Total.	49,125

Comparaison entre les prix des ponts en tôle et ceux des ponts en maçonnerie. Les chiffres suivants ne comprennent que les travaux d'art et non point les abords.

	fr.
Pont n° 4 (route de Saint-Denis) pour la chaussée de 7m,40 de portée et de 22 mètres de largeur réservée aux voitures, en tôle.	38 365,83
La tôle figure dans ce prix pour	18 368,00
Ce pont établi en maçonnerie aurait coûté	36 000,00
Pont n° 5 (chemin d'Aubervillers), de 7m,40 d'ouverture et de 6 mètres de largeur, en tôle	16 532,45
Le même pont en maçonnerie.	17 500,00

Pont de 14 mètres d'ouverture projeté pour supporter le chemin de ceinture au-dessus de la route de Flandre, en tôle	30 000,00
Le même pont en maçonnerie	32 500,00

Ces chiffres montrent que, pour les faibles portées et avec les prix admis aux environs de Paris, la tôle ne présente d'avantage réel sur la maçonnerie qu'en ce qui a rapport à la moindre épaisseur de tablier et à la plus grande facilité d'exécution.

Avec les prix du chemin de fer de ceinture, 0f,45 le kilog. de fer, et 0f,35 le kilog. de fonte, les planchers à poutres en fonte coûtent plus cher que ceux en tôle. En employant, comme le font quelques ingénieurs, de la fonte de première fusion, on réduirait le chiffre 0f,35.

723. *Planchers de ponts en poutres de fonte double* T *et voûtes en briques*. Ce système, qui a une grande ressemblance avec celui du pont n° 4 du numéro précédent, dans lequel les poutres sont en tôle au lieu d'être en fonte, a été employé avec beaucoup de succès par M. Flachat pour supporter les chaussées au-dessus du chemin d'Auteuil, et dans la construction des caves de la nouvelle gare du chemin de fer de l'Ouest.

Au chemin d'Auteuil, pour une ouverture de 7m,00 entre les culées et une largeur de pont de 8m,00, dont 1m,00 de chaque côté pour trottoirs, le plancher se compose de 4 poutres double T espacées de 2m,00 d'axe en axe pour supporter la chaussée de 6m,00, et de deux poutres de tête espacées de 1m,00 des voisines pour supporter un côté des trottoirs, qui sont en madriers de 0m,08 d'épaisseur. Les poutres intermédiaires ont 0m,60 de hauteur et celles de tête 0m,80. Les faces inférieures des poutres sont toutes de niveau et à une hauteur de 4m,50. Les 4 poutres de la chaussée sont reliées par deux cours d'entretoises en fonte double T, de 0m,30 de hauteur et de 0m,12 de largeur de semelles, divisant la distance des culées en trois parties égales de 2m,333. C'est sur les semelles de ces entretoises et sur les culées que reposent les voûtes en bonnes briques ordinaires, de 0m,22 d'épaisseur et de 0m,33 de flèche, lesquelles, par cette disposition, ne poussent pas les poutres au vide comme au pont 4 du numéro précédent, et reportent une partie de leur poids sur les culées. Les entretoises reposent sur les semelles inférieures des poutres, et leurs extrémités portent les oreilles qui permettent de les relier solidement aux joues des poutres par 4 boulons.

On a donné aux poutres la forme de solides d'égale résistance, en faisant varier, non la hauteur h de la pièce (249), mais seulement h', c'est-à-dire l'épaisseur des nervures.

Pour déterminer la section de la poutre en un point quelconque situé à la distance x du point d'appui voisin, on a d'abord cherché le

moment de la charge par rapport au point correspondant à x; ce moment est, en supposant la charge uniformément répartie, ce qui n'a pas lieu dans le cas actuel, qui donne cependant des sections à très-peu près les mêmes et que l'on peut adopter dans la pratique,

$$\frac{p}{2}(Lx-x^2).$$

Égalant ce moment à celui de résistance des fibres, on a

$$\frac{p}{2}(Lx-x^2)=\frac{RI}{n}. \qquad (243)$$

Pour une poutre double T, on a (n° 236, fig. 49)

$$\frac{p}{2}(Lx-x^2)=\frac{R}{n}\,\frac{bh^3-b'h'^3}{12}.$$

Formule dans laquelle $n=\frac{h}{2}$ quand les deux nervures sont égales comme on le fait généralement, et dont celle du n° 242 n'est qu'un cas particulier où $x=\frac{L}{2}$.

Au chemin d'Auteuil on a fait pour les poutres de la chaussée proprement dite $p=1600$ kil. par mètre courant de poutre, surcharge comprise, $h=0^m,60$, $b=0^m,28$ environ, $b'=0^m,26$ (l'épaisseur de l'âme de la poutre est $0^m,02$), et de la formule précédente on a déduit $h'=0^m,52$, c'est-à-dire $\frac{h-h'}{2}=0^m,04$ pour l'épaisseur des nervures au milieu de la longueur de la poutre.

La formule précédente donne de même les valeurs de h', et par suite les épaisseurs des nervures, pour les différentes valeurs de x; mais comme il ne convient pas que l'épaisseur des nervures soit inférieure à celle de l'âme de la poutre, que l'on prend aussi petite que le comporte un coulage satisfaisant, dès qu'on arrive à cette limite, la diminution de la section se reporte sur h, dont la formule donne encore les valeurs, et comme pour $x=0$ on aurait $h=0$, on assigne à h une valeur-limite inférieure, laquelle, une fois atteinte, reste constante jusqu'à l'extrémité de la poutre. Cette valeur inférieure de h, au chemin d'Auteuil, est de $0^m,40$.

Pour les entretoises, on a fait $L=2^m,00$, $h=0^m,30$, $b=0^m,20$, $b-b'=0^m,012$ et $\frac{h-h'}{2}=0^m,014$.

L'épaisseur du plancher au milieu de la chaussée est de $0^m,75$.

PONTS SUSPENDUS.

. *Ponts suspendus.* Dans ce système de ponts, comme le fait a figure 33, planche III, une chaîne en fer, ou un câble en fil de ont les extrémités sont solidement amarrées dans le sol, passe eux piliers en maçonnerie, et supporte, à l'aide de tiges en fer, lier du pont.

tiges de suspension a, b, c, etc., étant toutes également éloi- horizontalement, et le poids total, câbles, tiges, tablier, charge euve, etc., étant le même entre deux tiges consécutives quel- ues, ce qui a lieu sensiblement dans un pont suspendu, les points iche a, b, c, d, etc., des tiges sur le câble, sont sur une même bole dont l'équilibre est

$$y = \frac{p}{2Q}(x^2 - x_0^2). \qquad (Int.\ 1113)$$

x coordonnées d'un quelconque des points a, b, c, d, etc.;
abscisse du premier point a placé sur la partie horizontale $a'a$;
charge par mètre de longueur de tablier; elle comprend le poids du câble, des tiges, du tablier, de la surcharge, etc.;
tension horizontale de la chaîne; c'est la seule force qui sollicite la partie horizontale aa'.

i au lieu d'avoir un côté horizontal aa', le point d'attache a se trou- t au sommet de la courbe, on aurait $x_0 = 0$, et l'équation précé- ite deviendrait

$$y = \frac{p}{2Q}x^2.$$

Si dans cette équation on fait :

$y=f$, flèche correspondant à la partie parabolique du câble, partie que l'on peut pposer s'étendre au delà des tiges extrêmes de suspension, d'une quantité dont la ojection horizontale est égale à la demi-distance horizontale de deux tiges consécu- es;

$x=d$, abscisse du point où finit la parabole. Il est à remarquer que si les extrémités ı tablier ne portaient pas sur les culées, et si le tablier se prolongeait d'une demi- stance horizontale de deux tiges consécutives au delà des tiges extrêmes, d serait la mi-ouverture du pont ou la distance horizontale du sommet de la courbe à l'extré- ite du tablier que l'on considère, et f correspondrait à cette extrémité; au delà des oints qui fournissent d et f, et jusqu'aux points de suspension, les câbles se prolon- ent très-sensiblement en ligne droite, suivant les tangentes aux extrémités de la urbe,

$$Q = \frac{pd^2}{2f}.$$

728. *Tension des chaînes.* Toutes les autres forces qui sollicitent es différents points de la chaîne étant verticales, il en résulte que

la tension horizontale Q est constante, et que si l'on considère une autre partie quelconque eg de la chaîne, sa tension sera la résultante de la force horizontale Q, et d'une force verticale égale à la somme des poids appliqués depuis la pointe e jusqu'au sommet de la courbe, poids qui est égal à px_1, x_1 étant l'abscisse du point milieu de eg. Comme les deux composantes Q et px_1 sont perpendiculaires entre elles, leur résultante, que nous désignerons par T_1, est

$$T_1 = \sqrt{Q^2+p^2x_1^2}.$$

La tension de la chaîne est à son maximum au sommet du pilier, ou sensiblement au point correspondant à f et d (724), car la partie droite du câble, dans la plupart des cas, peut être négligée, et pour ce point, si l'on représente par T la tension, on a

$$T = \sqrt{Q^2+p^2d^2}.$$

Remplaçant Q par sa valeur, il vient

$$T = \sqrt{\frac{p^2d^4}{4f^2}+p^2d^2} = \frac{pd}{2f}\sqrt{d^2+4f^2},$$

formule à l'aide de laquelle on calculera la section des câbles, car l'augmentation de tension due à la portion droite du câble entre la partie courbe et le point de suspension est en général négligeable.

726. *Longueur des tiges de suspension*. On a (724)

$$y = \frac{p}{2Q}x = \frac{f}{d^2}x^2.$$

Donnant successivement à x les valeurs qui correspondent aux diverses positions des tiges, on en conclut les valeurs respectives de y, et en ajoutant à chacune des valeurs de y une longueur égale à la distance à laquelle les diverses tiges descendent au-dessous du sommet de la courbe, on aura les longueurs des tiges.

Quand on aura besoin de connaître la longueur totale de toutes les tiges, s'il y a une tige placée au sommet de la courbe, la somme de toutes les parties comprises au-dessus du niveau de ce sommet, et pour chaque côté de ce sommet, sera égale à la somme de toutes les valeurs precédentes de y, c'est-à-dire à

$$s = \frac{fl^2}{d^2}(1^2+2^2+3^2+\text{etc.}).$$

Or, la somme des carrés des n premiers nombres entiers consécutifs étant $\frac{1}{6}n(n+1)(2n+1)$, cette formule devient

$$s = \frac{fl^2}{6d^2}n(n+1)(2n+1).$$

me totale des parties de tiges comprises au-dessus du sommet de la courbe, our un côté de ce sommet;
ance des tiges; l, $2l$, $3l$, etc., sont les diverses valeurs que l'on a substituées x pour obtenir la formule précédente;
les mêmes significations qu'au n° 724.

u'il n'y a pas de tige au sommet, si l'on fait $l_1 = \frac{l}{2}$, on re- e que les abscisses des points successifs d'attache sont l_1, $3l_1$, .., et on a

$$s = \frac{fl_1^2}{d^2}(1^2 + 3^2 + 5^2 + \text{etc.}).$$

me des carrés des n premiers nombres impairs étant $\frac{1}{3}n(4n^2-1)$, t donc

$$s = \frac{fl_1^2}{3d^2}n(4n^2-1).$$

r avoir la longueur totale des tiges, à la somme s des parties ieures au point bas de la courbe, il faut ajouter la somme des es inférieures à ce point. Si le plancher était horizontal, cette de somme serait égale au produit de la quantité dont chaque descend au-dessous du point bas par le nombre des tiges. Si le er a une forme parabolique, on peut calculer cette seconde me en procédant de la même manière que pour la première. Mais, cette évaluation de longueur totale, on peut supposer que toutes iges descendent à une même distance au-dessous du point bas a courbe.

. Mary rapporte avoir ouï dire à un constructeur de ponts suspen- que pour ne pas s'inquiéter du bombement du tablier, il calcu- la longueur de ses tiges dans l'hypothèse d'un tablier horizontal, u'il donnait à la chaîne une longueur diminuée de manière à re- r le sommet de la parabole du bombement qu'il voulait donner plancher. D'après le même constructeur, une travée de 100 mètres aisserait de $0^m,10$ au sommet après la pose du tablier; il faut c avoir égard à cette circonstance en réglant la longueur des s.

727. *Longueur de la chaîne.* Cette longueur est égale à la somme parties droites comprises entre les différents points de suspen- n. En remarquant que l'une quelconque u_n de ces parties est l'hy- ténuse d'un triangle rectangle dont l'un des côtés est la distance l s tiges, et dont l'autre est est la différence des deux ordonnées y_n y_{n-1} des deux extrémités de la partie droite considérée (726), il en sulte qu'on a

$$u_n = \sqrt{l^2 + (y_n - y_{n-1})^2}.$$

Calculant de même la longueur des divers éléments de la chaîne, et en faisant la somme on aura la longueur totale.

On conçoit que ces calculs sont assez longs ; dans le plus grand nombre de cas on n'a pas besoin d'avoir la longueur rigoureuse de la chaîne, et on peut la supposer égale à la longueur de la parabole circonscrite, longueur qui est, pour un côté, à partir du sommet jusqu'au point correspondant à f et d (724).

$$L = d\left(1 + \frac{2f^2}{3d^2}\right). \quad (a)$$

La chaîne étant symétrique par rapport au point bas, on aura la longueur totale de la partie parabolique en doublant cette valeur de L. Si la chaîne ne s'élevait pas à la même hauteur à ses deux extrémités, on calculerait la longueur L' de la seconde partie comme on a calculé L, en modifiant convenablement d et f (724). Ajoutant les longueurs des parties droites du câble à celles des portions paraboliques, on obtiendrait la longueur totale.

728. *Piliers inégalement élevés.* Toutes les formules précédentes s'appliquent encore à ce cas, mais en considérant séparément chaque partie de la courbe, à droite et à gauche du point bas, et en faisant, pour chaque partie, f égal à la flèche extrême de la partie courbe qui y correspond, et d égal à la distance horizontale du point bas au point le plus élevé de la partie courbe considérée (724).

Il faut donc pouvoir déterminer la distance du sommet de la courbe à chaque point de plus grande flèche de chacune des parties courbes. f_1 et f_2 étant ces plus grandes flèches, qui sont des données du projet, $2d$ la distance totale horizontale des points de flèches f_1 et f_2, d_1 la distance horizontale du sommet de la courbe au point de flèche f_1, d_2 sa distance au point de flèche f_2, on a

$$d_1 = \frac{2d\sqrt{f_1}}{\sqrt{f_1}+\sqrt{f_2}}, \text{ et par suite } d_2 = 2d - d_1.$$

On a aussi

$$d_2 = \frac{2d\sqrt{f_2}}{\sqrt{f_2}+\sqrt{f_1}}.$$

729. *Augmentations de la longueur de la chaîne et de la flèche par suite de la dilatation et de la tension de la chaîne.* L étant la longueur de la partie courbe de la chaîne (727), le fer s'allongeant de $0^m,000$ 0122 par degré centigrade (278), pour une augmentation de température t°, la longueur L s'allongera de

$$\delta = L \times 0{,}000\,0122 \times t,$$

et la longueur de la chaîne deviendra $L + \delta$.

clant x l'augmentation de la flèche, cette flèche deviendra $f+x$. ituant ces nouvelles valeurs des longueurs de chaîne et de flèche la formule (*a*), n° 727, on a

$$L+\delta=d\left(1+\frac{2}{3}\frac{f^2+2fx+x^2}{d^2}\right).$$

tranchant L du premier membre, et sa valeur du second (727), on a

$$\delta=d\times\frac{2}{3}\frac{2fx+x^2}{d^2};$$

l'on tire, en négligeant x^2, qui est très-petit près de fx,

$$x=\frac{3d}{4f}\delta.$$

e formule, qui donne directement x en fonction de δ, n'est rigouement applicable que quand la courbe est symétrique par rapt à son point bas, c'est-à-dire quand les deux piliers s'élèvent à la ne hauteur, et que, par suite, δ est l'allongement de chacune des x parties courbes de la chaîne.

n peut encore établir des formules semblables aux précédentes ir déterminer l'augmentation de flèche due à la tension des ìînes. Ainsi on a

$$\delta'=\frac{L\times 0{,}000054\times T}{\omega}=\frac{L\times T}{18518\omega}.$$

allongement de la longueur de la demi-parabole ;
longueur de la demi-parabole (727) ;
,000054 allongement d'une tige de fer de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre carré de section, sous une tension de 1 kilogramme (232) ;
tension du câble en kilogrammes ; cette dernière formule la suppose uniforme sur toute la longueur de la chaîne ;
section de la chaîne en millimètres carrés.

Représentant par x' l'augmentation de flèche due à δ', on a encore

$$x'=\frac{3d}{4f}\delta'.$$

La détermination de l'allongement des parties droites des câbles u delà des portions courbes n'offre aucune difficulté, et on déterinera facilement son influence sur l'abaissement du sommet de la ourbe.

730. *Sections des chaînes et des tiges.* La tension des chaînes variant en tous les points de la longueur, il en résulte que la section ourrait être variable en tous ces points. Cependant on fait cette ection constante, et suffisante pour résister avec toute sécurité à la valeur maximum de T (725). Quoique le fer de l'échantillon employé pour les chaînes ne se rompe que sous un effort moyen de 40 kilo-

grammes par millimètre carré de section, les autorités prescrivent de ne pas le soumettre à une charge de plus de 12 kilogrammes. Pour le fil de fer, la charge maximum prescrite est de 18 kilogrammes, quoiqu'il ne se rompe que sous une tension moyenne de 60 kilogrammes (232). Ainsi, selon que l'on fera usage du fer forgé ou du fil de fer, ω étant, en millimètres, la section des chaînes ou des câbles, on aura au minimum

$$\omega = \frac{T}{12}, \text{ ou } \omega = \frac{T}{18}.$$

ω est la section de tous les câbles quand, dans la valeur de T, p comprend le poids de tout le tablier, de toutes les tiges et chaînes, et la surcharge de 200 kilogrammes par mètres carré que l'on répartit sur tout le pont lors de l'essai (page 1100). Connaissant ω, en divisant par le nombre total de chaînes, on aura la section de chacune d'elles, que l'on place en même nombre de chaque côté du pont.

Nous disons que p contient le poids de la chaîne; mais comme ce poids n'est pas connu, puisqu'il dépend de la section, il convient de lui attribuer une valeur que l'on préjuge convenable, de déterminer la valeur correspondante de T, et par suite celle de ω; de cette valeur de ω on conclut une seconde valeur de p qui permet de calculer T et ω aussi exactement qu'il est nécessaire.

La section des chaînes, multipliée par leur longueur (727), puis par la densité du fer, donnera leur poids total.

De la charge d'une tige de suspension, on conclura la section comme pour les chaînes. La charge d'une tige est égale à la moitié du poids d'une longueur de tablier égale à la distance de deux tiges successives, plus la moitié du poids de la plus lourde voiture qui peut passer sur le pont, il conviendrait encore de faire entrer le poids de la tige dans la charge qu'elle supporte, mais ce poids est négligeable.

M. Endrès, ingénieur des ponts et chaussées, dans un travail qu'il a bien voulu nous communiquer, et que depuis il a publié dans les annales du corps auquel il appartient, a posé une formule qui évite le tâtonnement dont il vient d'être question pour calculer la section des câbles.

Dans son travail, M. Endrès remarque que la tension du câble, posée n° 725, peut se mettre sous les deux formes

$$T = \frac{pd}{4\mu}\sqrt{16\mu^2 + 1} \text{ et } T = \frac{pd}{\sin \alpha}.$$

μ rapport de la flèche f au double de d (724);

α angle que forme la tangente à la courbe, au point le plus élevé, avec l'horizon. Cette tangente venant rencontrer l'axe de la courbe à une distance æ

dessous du sommet égale à f (*Int.*, 1125), on a $\tan\alpha = \frac{2f}{d} = 4\mu$, et

$$\sin\alpha = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\tan^2\alpha + 1}} = \frac{4\mu}{\sqrt{16\mu^2+1}} \qquad (\textit{Int.}, 964 \text{ et } 984).$$

Ayant
$$pd = p'd + L\omega\delta,$$

p' poids par mètre de longueur de pont en négligeant les câbles ; p' est égal à p moins le poids des câbles (724) ;
L longueur du câble (727) ;
δ poids du centimètre cube de la matière dont le câble est composé. Si l'on exprimait L en décimètres et ω en décimètres carrés, on ferait δ égal à la densité de la matière du câble, c'est-à-dire à 1000δ.

on peut donc poser
$$T = \frac{p'd + L\omega\delta}{\sin\alpha}.$$

Comme on a aussi, en désignant par ρ la tension qu'il convient de faire supporter à chaque millimètre de la section ω,

$$T = \omega\rho,$$

on a donc
$$\omega\rho = \frac{p'd + L\omega\delta}{\sin\alpha}, \quad \text{d'où} \quad \omega = \frac{p'd}{\rho\sin\alpha - L\delta};$$

expression qui permet de calculer ω sans tâtonnement, et qui devient, suivant que l'on fait usage de chaînes en fer forgé ou de câbles en fil de fer,

$$\omega = \frac{p'd}{12\sin\alpha - 0{,}0078\,L} \quad \text{ou} \quad \omega = \frac{p'd}{18\sin\alpha - 0{,}0078\,L}.$$

La relation posée ci-dessus entre $\sin\alpha$ et μ permet de faire disparaître l'angle α de la valeur de ω ; on pourrait même proscrire μ en le remplaçant par sa valeur $\frac{f}{2d}$; mais ces substitutions compliqueraient la formule sans aucun avantage réel, attendu que le rapport μ de la flèche à l'ouverture et l'angle α de la tangente extrême avec l'horizon sont des éléments essentiels du problème, éléments qu'il faut calculer dans tous les cas, puisqu'il est nécessaire de s'assurer si les valeurs de d et f sont telles que μ ne sorte pas des limites $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{15}$ qui lui sont communément assignées, et que la connaissance de l'angle α est indispensable pour la détermination ultérieure de la résistance à donner aux piliers de support et de la direction qui convient aux câbles de retenue. Aux limites précédentes de μ correspondent celles $\frac{6}{15}$ et $\frac{4}{15}$ de $\tan\alpha$.

Dans son travail, M. Endrès a fait l'application de sa formule au calcul de la section des câbles ou chaînes de plusieurs ponts choisis parmi les plus remarquables de ceux existants, et les résultats, comme on devait s'y attendre, ont fourni à la théorie une vérification aussi complète que possible.

731. *Fabrication des chaînes et des tiges.* Le fer forgé employé à la fabrication des chaînes doit être de première qualité. Ces chaînes doivent être faites avec le plus grand soin ; il faut donner rigoureusement le même diamètre aux boulons de jonction des chaînes et à l'œil qui les reçoit (page 281).

Quelques précautions que l'on apporte à la fabrication des chaînes en fer forgé, il leur est arrivé de se rompre, en Angleterre, où le fer est de très-bonne qualité, aussi bien qu'en France. Les câbles en fil de fer au contraire ne se sont jamais rompus. Quant à la durée des chaînes et des câbles, l'expérience n'a pas encore prononcé, mais on admet qu'elle est la même pour les chaînes que pour les câbles.

Les fils de fer ordinairement employés à la fabrication des câbles ont $0^{m},00275$ et $0^{m},00308$ de diamètre, ce qui donne pour sections respectives $5^{mill.c.},94$, et $7^{m.c.},45$; le premier est du n° 17 et le second du n° 18. Les bouts de fil ont environ 150 mètres de longueur. En les mettant en câbles, on a soin d'opérer sur le fil une traction constante, suffisante pour faire disparaître les ondulations qu'il a prises par suite de la disposition en couronne qu'on lui donne pour le livrer au commerce. Quand un fil est placé sur le câble, on relie son extrémité à un autre bout, afin que le câble terminé soit comme formé d'un seul fil. Pour réunir les extrémités de deux fils, on les croise sur une longueur de $0^{m},10$, et sur $0^{m},07$ de ce croisement on les serre avec un fil recuit du n° 4, dont on met les spires en contact.

Si la température varie pendant la fabrication du câble, il convient de rendre mobile un des croupières sur lesquelles passe le fil à l'extrémité du câble, afin d'opérer sur cette croupière une traction qui tienne toujours bien tendue la partie de câble fabriquée, malgré son allongement dû à la dilatation. Par cette disposition, une fois le câble terminé, tous les fils y sont dans un même état de tension, ce qui est de la plus grande importance pour la solidité du câble. Afin de reconnaître à chaque instant en quel point doit se trouver la croupière mobile, avant de commencer le câble, on tend un fil de fer allant d'une extrémité du câble à l'autre ; on tient ce fil dans un état de tension constant à l'aide d'un poids, lequel, étant fixé à l'extrémité d'un fil flexible passant sur une poulie mobile, donne, par son mouvement, les allongements ou raccourcissements du fil étalon, et par suite la position que doit occuper la croupière mobile.

D'après les expériences de M. Leblanc, pour faire disparaître toutes les inflexions que les fils prennent, par suite de leur mise en cou-

ronnes, et qu'ils tendent à conserver lorsqu'on les met en câbles, il faut, avant de les contourner sur chaque croupière, les soumettre à une tension de 300 à 500 kilog. Cette précaution porte la résistance du câble aux 0,86 ou 0,90 de la somme des résistances de tous les fils de fer pris séparément ; au lieu que si cette traction préalable n'est que de 50 kilog., la résistance totale n'est que les 0,84, et les 0,81 seulement si la tension n'est que de 25 kilog.

Lorsque tout le fil est placé en écheveau sur les deux croupières, on réunit les deux brins de l'écheveau, pour en former le câble, à l'aide de fil de fer dont on fait toucher les spires. D'après M. Leblanc, les câbles autour desquels il y a le plus de ligatures sont les plus résistants. Ordinairement, les ligatures ont de $0^m,10$ à $0^m,11$ de longueur et elles sont espacées à peu près du double.

Afin de préserver les câbles de l'oxydation, avant de mettre les fils en écheveaux on les fait passer deux ou trois fois dans un bain d'huile de lin bouillante rendue siccative à l'aide de litharge ; puis, quand le câble est fabriqué et relié de mètre en mètre par des ligatures provisoires, on y applique une nouvelle couche d'huile de lin, rendue siccative comme pour les couches appliquées par immersion. Dans cet état, les câbles sont conservés sous un hangar, en les préservant des chocs, qui, en enlevant le vernis, rendent l'oxydation facile.

Pour mettre les câbles en place, on jette un petit câble allant d'une pile à l'autre ; puis, à l'aide de petits supports fixés au grand câble et portant des poulies qui roulent sur le petit câble, on fait avancer le grand câble en le tirant par son extrémité, à l'aide d'un treuil établi sur la pile opposée, jusqu'à ce qu'il soit dans sa position définitive.

Les tiges de suspension du tablier sont en fer forgé lorsqu'on emploie des chaînes; avec les câbles en fil de fer, on peut les exécuter en fil de fer, mais ordinairement on les établit en fer; elles sont plus faciles à fabriquer, et on est plus maître d'en régler la longueur de manière à donner un bombement convenable au plancher lors de sa pose. Les tiges en fil de fer, sans exiger autant de soins et sans être aussi difficiles, se fabriquent par les mêmes procédés que les câbles ; on les enveloppe également de ligatures; elles sont habituellement en fils des n° 17 ou 18.

M. Endrès, dans son mémoire cité page 1108, rapporte un mode de fabrication des câbles sur place, qu'il a mis en usage dans la construction du pont de Beaumont-sur-Sarthe, et dont l'idée première est due à M. Chaley, constructeur distingué du beau pont de Fribourg et d'un grand nombre d'autres.

Ce mode, dit M. Endrès, se prête merveilleusement à l'établissement des câbles fil par fil et à la place même qu'ils doivent occuper, sorte que toutes les difficultés inhérentes à la confection en chantier, au transport, au levage et à la pose sont éludées : il consiste à

mettre en communication, à travers chaque culée, les parties inférieures des deux puits d'amarre, par une galerie qui permet de réunir deux à deux les extrémités des câbles de chaque tête du pont, et de les attacher l'une avec l'autre au lieu de les amarrer isolément; ou mieux encore, et c'est en cela que consiste le plus grand avantage de ce système, il permet de former fil par fil un ou plusieurs câbles sans fin qui passent d'un tête à l'autre à travers la galerie dont le plafond s'arrondit et s'appareille en forme de voûte renversée, et qui embrassent les maçonneries des culées dans leurs boucles extrêmes.

Il est facile alors de profiter de cette disposition pour rendre les câbles entièrement et constamment visibles et accessibles, en établissant une communication de cette galerie avec le dehors, soit directement dans les têtes si cela est praticable, soit par l'intérieur de la culée en faisant reposer la chaussée sur une voûte longitudinale qui prend pour pieds-droits les murs de tête; on peut dans ce dernier cas diminuer notablement l'épaisseur de ces murs et de celui de la face, attendu que l'absence du remplissage en terre diminue beaucoup la pression sur le premier et l'annule entièrement sur le dernier (733).

La fabrication des câbles sur place nécessite en général l'établissement préalable d'une passerelle de service destinée à livrer passage d'une rive à l'autre à l'ouvrier chargé du transport du fil et de la ligature des brins bout à bout. Cette passerelle consiste simplement en deux câbles de petit diamètre, disposés sous une flèche peu considérable et supportant à environ un mètre d'intervalle, *de manière* à servir eux-mêmes de main courante, un étroit plancher soutenu par des fils de fer. Ainsi établi au niveau de la partie supérieure des culées, cet appareil réduit à une main d'œuvre facile et rapide, un travail dont l'extrême difficulté par les moyens ordinaires imposait matériellement une limite très-rapprochée à la portée des ponts suspendus.

Ce nouveau procédé constitue réellement un progrès précieux, car c'est surtout dans les grandes ouvertures que le système des ponts suspendus met le mieux en évidence les avantages qu'il présente sous le rapport de la facilité, de la promptitude et de l'économie d'exécution.

M. Endrès pense que dans toutes les circonstances où une voie de communication aurait à franchir une vallée profonde, on ne devrait pas hésiter à construire un pont suspendu de 5, 6, 7, ou 8 cents mètres d'ouverture, pourvu toutefois que les versants de la vallée se trouvent naturellement disposés de manière à permettre d'établir la partie inférieure des supports bien-au-dessus du point le plus bas des câbles; car sans cette condition l'obstacle naîtrait de l'impossibilité de construire des supports de 50, 60, 70 ou 80 mètres de hauteur. Le pont de Fribourg, qui est le plus grand qui existe, a 265m,26 entre les appuis.

732. *Piliers.* Les chaînes ou câbles passent sur des piliers élevés sur les culées, puis s'infléchissent au delà de ces piliers pour pénétrer dans des massifs de maçonnerie reliés à la culée et auxquels on les fixe solidement.

Le prolongement sA, figure 33, planche III, de la chaîne, au delà du pilier, s'appelle *chaîne de retenue;* il est soumis à la tension maximum T de la chaîne au point s (725) et le pilier doit avoir une section suffisante pour résister à la résultante de ces deux tensions égales.

La tension de la chaîne au point s est dirigée suivant la tangente à la courbe en ce point, c'est-à-dire suivant sB, qui rencontre l'axe des y au point B donnant OB=OC. Cela n'est rigoureusement vrai qu'autant que la partie courbe du câble se prolonge jusqu'au point s, et comme il est rare que ce cas se réalise, il vaut mieux dire que la tension T est dirigée suivant la tangente à la courbe au point pour lequel on a défini f et d au n° 724, et que cette tangente rencontre l'axe des y à une distance du sommet égale à f (page 1109).

Comme ordinairement les deux angles BsD et AsD sont égaux, il s'ensuit que la résultante de la tension T de la chaîne de suspension et de celle égale de la chaîne de retenue est dirigée suivant la verticale sD ; d'où, T étant représenté par sB, cette résultante le sera par sD, et en la désignant par R, on aura

$$R : T = sD \text{ ou } 4f : sB \text{ ou } \sqrt{d^2+4f^2}, \quad \text{d'où} \quad R = \frac{4fT}{\sqrt{d^2+4f^2}}.$$

Remplaçant dans cette formule T par sa valeur (725) il vient

$$R = 2pd;$$

ainsi le pilier est chargé d'un poids égal à 2 fois celui de toute la portion de système, tablier, câble et surcharge, comprise depuis le point bas du câble jusqu'au pilier considéré.

Les mêmes lettres ont les mêmes significations qu'au n° 724.

Connaissant la valeur de R, il sera facile de calculer la section à donner aux piliers pour y résister (234).

Lorsque l'angle AsD n'est pas égal à l'angle BsD la résultante R partage encore l'angle AsB en deux parties égales, et elle n'est plus par conséquent dirigée suivant la verticale sD; alors R se décompose en deux forces : l'une verticale, dirigée suivant sD et qui agit par compression sur le pilier; l'autre horizontale, qui tend à renverser le pilier et à le faire glisser sur sa base ou sur ses joints. Le pilier doit avoir des dimensions suffisantes pour résister à l'une et à l'autre de ces composantes.

Quelquefois un pilier sépare deux travées dont les câbles sont fixés

à son sommet. Dans ce cas, la tension de chaque câble se décompose en deux forces, l'une verticale et l'autre horizontale; les forces verticales s'ajoutent, et le pilier doit résister à leur somme sans s'écraser; les forces horizontales se retranchent, et leur différence ne doit pas être suffisante pour faire tourner le pilier autour de l'arête extérieure de sa base, c'est-à-dire que le moment de cette différence, pris par rapport à cette arête, doit être moindre que celui du poids du pilier, augmenté de celui de la somme des composantes verticales des tensions, pris également par rapport à cette même arête. Il ne faut pas non plus que cette force horizontale soit suffisante pour faire glisser le pilier sur sa base ni sur aucun de ses joints. Pour éviter ce dernier glissement, on relie toutes les assises du pilier par quatre tirants en fer qui s'élèvent du bas du pilier jusqu'au sommet, où ils se boulonnent sur la plaque de fonte qui porte les chevalets auxquels sont fixés les câbles.

Il faut aussi que la résultante des tensions ne soit pas suffisante pour faire rompre les piliers suivant sa direction. Pour éviter cela, quand cette résultante est considérable, il convient de relier entre elles les pierres d'une même assise par des crochets et des ancres horizontales. La section du pilier étant suffisante pour résister à la composante verticale des tensions, on peut dire que l'on n'a pas à craindre cette rupture oblique suivant la direction de la résultante, tant que cette direction ne passe pas hors de la base du pilier.

Pour évaluer la composante horizontale qui tend à renverser le pilier, on suppose que l'une des travées du pont est chargée de 200 kilog. par mètre carré de tablier, et qu'aucune surcharge ne repose sur l'autre; ce cas est le plus défavorable, mais il se présente. La pierre des piliers ne doit pas travailler sous une pression supérieure à celle indiquée n° 224, et même dans quelques ponts, au pont de Fribourg, par exemple, on a réduit la charge à 1 kilog. seulement par centimètre carré; dans les ponts construits avec de la pierre ordinaire, les voussoirs travaillent souvent à 20 kilog. par centimètre carré.

Dans quelques ponts, on a substitué aux piliers en pierre des bielles en fonte placées chacune dans la direction de la résultante des tensions des deux parties du câble qui s'infléchit sur son sommet.

733. *Massifs d'amarrage.* La chaîne de retenue, arrivée au sol, y pénètre en ligne droite, ou ordinairement en s'infléchissant de nouveau afin de diminuer la longueur du massif d'amarrage, qu'alors on relie facilement à la culée de manière à ne faire qu'un massif de leur ensemble. Dans les ponts où les culées avancent de manière à être isolées, le plus souvent chaque massif d'amarrage se relie à la culée par un des murs en retour; par cette disposition, la maçonnerie de ces murs est doublement utilisée.

Quelle que soit la forme du massif, son ensemble doit être suffisant ur résister à la tension T qui le sollicite suivant As (fig. 33, pl. III). Supposons d'abord que la chaîne de retenue ne s'infléchisse pas point A, et soit β l'angle que fait sA avec la verticale et P le poids massif. La tension T se décompose en deux forces : l'une, $T\cos\beta$, quelle, étant verticale, tend à soulever le massif de maçonnerie, par conséquent à diminuer la pression et par suite le frottement celui-ci sur sa base ; l'autre, $T\sin\beta$, laquelle, étant horizontale, nd à faire glisser le massif sur sa base.

Pour que le massif ne soit pas soulevé, il faut que l'on ait

$$T\cos\beta < P.$$

Pour que le massif ne glisse pas, on doit avoir

$$T\sin\beta < 0{,}76\,(P - T\cos\beta).$$

De plus, la tension T doit être moindre que la résultante, suivant direction, du poids P et de la résistance au glissement 0,76 $(P - T\cos\beta)$.

0,76 est le coefficient de frottement du massif sur sa base ; on doit négliger l'adhérence des mortiers, ceux-ci n'étant ordinairement pas entièrement secs lors de l'essai u pont (62 et 714).

Lorsque la chaîne s'infléchit, il faut placer le point d'inflexion dans e sol, afin de diminuer la tendance des assises supérieures à glisser. Le massif doit satisfaire aux conditions du cas précédent, et de lus la résultante des tensions des parties As et AE de la chaîne de etenue doit être insuffisante pour renverser la culée. Ordinairement a direction de cette résultante, qui divise l'angle des deux parties As t AE en deux parties égales, passe dans la base de la culée et ne end pas à renverser le massif, si toutefois la fondation est assez soide pour que l'arête de la culée n'y pénètre pas.

Quoique la chaîne de retenue soulève une grande partie du massif l'amarrage, il n'en faut pas moins faire la fondation très-solide, arce que le massif étant plus fortement soulevé en des points de a base qu'en d'autres, les affaissements inégaux sont à craindre.

La partie de câble placée dans le sol étant plus sujette à l'oxydaion, il conviendrait de la faire en fer forgé ; dans tous les cas, on loit avoir soin de la couvrir de vernis. Comme, pour la solidité, on est obligé de faire étroites les cheminées de passage des câbles, et que par suite on ne peut aller vérifier l'état de ceux-ci, il convient de remplir les cheminées de chaux grasse réduite en pâte, et de placer une couche de suif sur la surface de la chaux ; par cette disposition, tout le métal étant privé du contact de l'air, il se conserve bien. Les cheminées ont de $0^m{,}08$ à $0^m{,}12$ de hauteur sur une largeur proportionnée à celle des faisceaux de câbles (731).

La clavette qui retient l'extrémité du câble s'appuie sur une plaque de fonte ; cependant des constructeurs la font directement reposer sur la pierre, mais alors il faut avoir bien soin de proportionner ses dimensions de manière qu'elle n'écrase pas la pierre sur laquelle elle est placée. Il faut avoir soin d'éviter de reposer la plaque de fonte ou la clavette sur du bois, dont la prompte pourriture amènerait la chute du pont. On ménage dans le massif une cheminée verticale, qui permet d'aller constater à volonté l'état de la clavette d'amarrage. Une petite chambre réservée en dessous de la clavette permet d'y faire les réparations qui peuvent être nécessaires.

734. *Planchers.* Les planchers reposent sur des poutres, ordinairement en bois, supportées à chaque extrémité par une tige ; ces poutres sont espacées de 1m,25 à 1m,50 environ. La partie de tablier qu'elles supportent et la surcharge provenant des plus fortes voitures guident pour en fixer les dimensions ; le cas le plus défavorable est celui où l'on suppose la moitié du poids de la partie de tablier qui y correspond appliquée en son milieu, ainsi que celui de la plus forte voiture (241). Il convient de remarquer que le plancher reporte, dans ce cas défavorable, une partie de la charge sur les poutres voisines.

Toutes les poutres sont reliées entre elles par quatre longrines, qui servent en même temps à surhausser les trottoirs, et par les madriers du premier plancher. Des contrevents en fer ou en bois empêchent le système de faire parallélogramme dans le sens horizontal.

Dans quelques ponts on a recouvert la face supérieure des poutres d'une plaque de zinc mince, qui empêche la pénétration de l'eau et contribue à la conservation du bois.

Les madriers du premier plancher ont de 0m,10 à 0m,12 d'épaisseur, et on les espace de quelques centimètres pour que l'air circule le mieux possible entre eux. Le plancher supérieur a 0m,05 à 0m,06 d'épaisseur ; les pièces en sont jointives et placées suivant la largeur du pont, afin que les pieds des chevaux y trouvent des appuis. On laisse entre les extrémités des pièces de ce tablier et les longrines qui supportent les trottoirs un jeu de quelques centimètres, afin que les eaux trouvent un écoulement facile.

La largeur d'un pont suspendu dépasse rarement 8 mètres ; au delà les poutres exigent des dimensions trop fortes. Sur ces 8 mètres, on prend 4m,80 pour la chaussée, ce qui est nécessaire pour que deux voitures se croisent, et le reste est employé en trottoirs. Lorsque le pont est peu fréquenté et d'une faible longueur, on ne donne au passage des voitures que 2m,20 à 2m,40 et de 1 mètre à 1m,10 à chaque trottoir ; la largeur d'un tel pont, sur lequel les voitures ne se croisent pas, n'a jamais été de moins de 4m,40.

Si une largeur de 8 mètres n'était pas suffisante, on pourrait placer

toirs à l'extérieur des tiges de suspension, sauf à supporter, était nécessaire, un côté de chacun d'eux par un câble séparé ceau supportant la chaussée et son autre côté.

. *Garde-corps.* Quoique les garde-corps en bois enlèvent de la r au pont, il convient de les employer à cause de la rigidité communiquent au plancher; c'est aussi pour mieux atteindre qu'on les forme d'une suite de croix de Saint-André. Leur hau-arie de $0^m,90$ à 1 mètre.

. *Appareils employés pour l'exécution des travaux sous l'eau.* enlever du fond de l'eau une pierre ou tout autre objet ana-, on se sert d'une tenaille dont l'axe d'articulation des mâchoires té à l'extrémité d'un long manche. Les mâchoires se prolongent ssus de l'articulation par des tiges formant avec d'autres un pa-ogramme dont tous les côtés sont égaux et articulés. Une corde au sommet supérieur du parallélogramme, et s'élevant le long ianche jusque hors de l'eau, permet, en la tirant, de serrer entre nâchoires de la tenaille l'objet qui s'y trouve, et que l'on peut s élever à la surface de l'eau.

ur creuser le sol sous l'eau on fait usage soit de la drague à n, soit de la drague à chapelets munis de hottes à griffes, laquelle nue par des animaux ou par la vapeur (670).

a *cloche à plongeur*, employée pour retirer du fond de l'eau des ps qui y sont tombés, ou même pour y faire des travaux de dé-ition ou de construction, consiste en un vase ouvert par le bas, né sur toutes les autres faces, et dans lequel des hommes peuvent vailler à des profondeurs considérables sous l'eau (page 905).

a cloche de plongeur, telle qu'elle a été perfectionnée par Rennie, telle qu'elle est encore employée en Angleterre, a à peu près la me d'un parallélipipède. Sa largeur est de $1^m,38$ et sa hauteur exté-urement est de $1^m,85$ sur $1^m,72$ intérieurement. Ses dimensions nt un peu en augmentant depuis le haut jusqu'en bas. On la coule fonte d'un seul jet, en faisant ses parois assez épaisses pour éviter ute fissure, même en cas d'accident, et pour que son poids soit ffisant pour qu'il ne soit pas nécessaire de la lester pour la sub-erger quoique pleine d'air. Au sommet de la cloche est pratiquée ne ouverture communiquant avec l'intérieur par plusieurs trous, galement circulaires, et fermés par autant de soupapes en cuir ouvrant de haut en bas. Un fort tuyau de cuir vissé sur l'ouverture xtérieure s'élève jusqu'à la pompe foulante placée sur l'échafaud u le bâtiment duquel on manœuvre la cloche; celle-ci est suspen-ue à de fortes chaînes engagées dans des anneaux en fer empri-onnés dans le corps de la cloche au moment de la fusion.

L'intérieur de la cloche est éclairée à l'aide de 12 lentilles circu-

laires en verre très-épais, solidement fixées par des ... mastic sur le pourtour de la face supérieure.

La cloche contient aisément deux personnes assises sur des ... convenablement placés. Le poids total de l'appareil est d... 4000 kilog. La pompe foulante qui fournit l'air est ordinairement manœuvrée par 4 hommes. Pour que l'air de la cloche n'ait aucune influence fâcheuse sur la santé des ouvriers, il faut qu'il renferme ... plus 4 à 5 pour 100 d'air vicié; pour obtenir ce résultat, la pompe doit renouveler 4 à 5 mètres cubes d'air par heure et par homme. L'air vicié par la respiration étant plus chaud et par suite moins dense que l'air frais, il s'accumule au haut de la cloche ... l'expulse à l'aide d'un robinet.

A mesure que la cloche s'enfonce sous l'eau et que la pression de l'air y devient plus considérable, les plongeurs ressentent dans les oreilles une douleur assez vive, qu'ils font disparaître en opérant ... la bouche, celle-ci et les narines étant bouchées, un mouvement de déglutition, ou en avalant leur salive.

Lorsque l'eau est limpide, la lumière est très-grande sous la cloche. Les signaux sont communiqués le plus souvent par les plongeurs, aux personnes qui manœuvrent la cloche, au moyen de coups de marteau frappés contre les parois de celle-ci, et ils n'en ... généralement qu'un petit nombre.

Pour extraire des pierres qui gisaient au fond du port de Cherbourg on a fait usage d'une cloche, que son inventeur, M. le docteur Payène, appelle *bateau-plongeur*. Cet appareil, dont la forme se rapproche de celle d'un bateau, est divisé, par des cloisons ... verticales, en trois compartiments, dont celui du milieu est divisé en deux chambres par une cloison horizontale garnie d'une porte qui permet aux ouvriers de passer de l'une des chambres dans l'autre. La chambre inférieure est sans fond.

Avant l'immersion, on comprime de l'air dans les compartiments extrêmes, et les plongeurs s'enferment dans la chambre supérieure. Cela fait, on foule de l'eau dans les compartiments extrêmes, ... l'air se rend dans la chambre intermédiaire supérieure, et par suite de l'augmentation de poids due à cette eau, l'appareil s'immerge progressivement. Arrivé sur le fond, on ouvre la porte de la cloison horizontale, l'air comprimé refoule l'eau de la chambre inférieure et les ouvriers y descendent pour travailler.

On maintient l'air de l'appareil à l'état respirable en le faisant passer, à l'aide d'un fort soufflet, dans une dissolution alcaline. La tuyère de ce soufflet est garnie d'une pomme d'arrosoir, laquelle ... divisant l'air en petit filets le met mieux en contact avec la dissolution.

Hydrostat sous-marin, de M. Payène, destiné au creusement du port de Fécamp. Cet appareil consiste en une caisse en tôle ...

parties par 2 cloisons horizontales. Le rez-de-chaussée ou cham-
e travail a pour plancher le fond de la mer, et mesure 8 mètres
té sur 2 mètres de hauteur. Des doubles parois forment autour
tte chambre une galerie fermée par le bas, qui renferme le lest
saire à la stabilité et aux manœuvres de l'hydrostat. 35 hommes
ent y travailler à l'aise.

-dessus de la cale se trouve le faux-pont ou premier étage, qui
re la même capacité que le rez-de-chaussée. Il est divisé, par
loisons verticales, en 4 compartiments munis chacun d'un ro-
t qui s'ouvre sur une galerie. Un cinquième robinet, ayant à
eul le débit des 4 autres, fait communiquer la galerie avec
érieur.

deuxième étage ou entre-pont n'a que 5 mètres de côté au lieu
mètres. 6 ou 8 aides s'y tiennent pendant le travail et sont
gés d'y arrimer les matières extraites ou d'envoyer dans la cale
matériaux à construire. Une bure ou puits carré de 1m,20 de côté,
ersant le faux-pont dans toute sa hauteur, donne accès du second
ge dans la cale. Dans l'entre-pont est placée une pompe à deux
ps, aspirante et foulante, dont le tuyau d'aspiration débouche à
térieur de l'hydrostat et le tuyau de refoulement dans la galerie
dessert les 4 compartiments du faux-pont.

Quand on veut descendre au fond de l'eau, l'équipage est enfermé
ns l'entre-pont. La porte de la bure qui descend dans la cale est her-
tiquement close. A ce moment, le faux-pont est rempli d'air, ainsi
e le deuxième étage; la cale seule est pleine d'eau. On ouvre les
robinets des compartiments sur la galerie. La pompe est mise en
ouvement. L'eau extérieure, aspirée par la pompe, envahit la ga-
rie et se trouve refoulée par les 4 robinets ouverts dans les compar-
nents du faux-pont où l'air se trouve ainsi comprimé. On ouvre un
ouveau robinet qui met la galerie du faux-pont en communication
ec la cale. Le travail de la pompe continue. L'air comprimé de plus
n plus dans les compartiments, trouvant une issue, s'en échappe,
hassé par l'eau que la pompe ne cesse d'y introduire, et vient à son
our repousser l'eau du rez-de-chaussée, qui se trouve ainsi, au mo-
ment où le faux-pont est rempli d'eau, rempli lui-même de l'air qui
tait dans le faux-pont. On arrête la pompe, on ferme les robinets.
La bure est ouverte, et les ouvriers descendent pour le travail. Un
reuil est établi dans la bure pour hisser ou affaler les matériaux. Le
ravail terminé, les hommes quittent la cale et remontent au second
tage. On referme la bure. Le tuyau d'aspiration de la pompe est
nis en communication avec la cale où il va aspirer l'air pour le re-
ouler maintenant dans les compartiments du faux-pont. L'eau
quitte ceux-ci et s'écoule par le robinet extérieur de la galerie, l'hy-
drostat reprend sa légèreté et revient à la surface de la mer.

L'équipage peut alors monter sur le pont en ouvrant une écoutille, et à l'aide de treuil, de câbles et de bouées, il amène l'appareil au lieu de débarquement.

La construction de l'hydrostat présente toutes les garanties de solidité, tout en conservant une legèreté assez grande pour que la manœuvre en soit facile. Les portes et trous d'hommes qui donnent accès dans l'intérieur, et qui vont d'un compartiment dans l'autre, sont parfaitement ajustés et étanchés. Dans le fini de ces détails résident toutes les garanties de sécurité pour les ouvriers, auxquels la grande capacité de l'appareil permet de travailler plusieurs heures sous l'eau sans être incommodés par le manque d'air.

Le *scaphandre*, imaginé par M. Sièbe, est un appareil que le plongeur porte lui-même, et qui le laisse assez libre de ses mouvements pour qu'il puisse procéder à des opérations de sauvetage, et même exécuter sous l'eau, à des profondeurs considérables, des ouvrages de construction ou de restauration. Le remplacement de l'air vicié par l'air pur se faisant au moyen d'une pompe fonctionnant avec beaucoup de régularité, l'ouvrier peut facilement rester sous l'eau pendant 3 à 4 heures et même plus.

Le scaphandre a été employé pour visiter et construire quelques parties des fondations des piles du pont de Baucaire, sur le Rhône, pour le chemin de fer de Marseille à Nîmes; aux ponts de Cette et de Marseille, on s'en sert fréquemment pour visiter l'état des fondations et y exécuter des réparations. M. Laroque, après avoir fait faire une partie de revêtement en ciment de Vassy, à une profondeur de 1m,50 sous l'eau, au port de la Joliette, pour s'assurer de l'état du travail, a fait lui-même une descente sous-marine, et il reste convaincu que l'on peut tirer un très-bon parti du scaphandre dans l'exécution des grands travaux hydrauliques; il est fâcheux que son prix soit aussi élevé (5500 à 6000 francs).

Le scaphandre se compose :

1° D'une pompe à air contenue dans une caisse de 0m,60 à 0m,80 de côté, dont le poids est de 125 kilog. environ;

2° D'une autre caisse contenant des souliers plombés, des plaques de plomb et des vêtements de laine, tels que camisoles, caleçons, bas et bonnets;

3° D'un vêtement imperméable en caoutchouc d'une seule pièce, qui part du milieu du dos et couvre tout le corps en formant un pantalon à bas;

4° D'une épaulière en métal, dont le collet circulaire porte un pas de vis, et la partie inférieure un système de bandelettes en cuivre qui sert à fixer le haut du vêtement imperméable;

5° D'un casque en métal, de forme ovoïde, dont la hauteur est de 0m,35 et la largeur 0m,27. La partie inférieure du casque, à la hauteur

col, est ouverte circulairement, et porte un écrou en métal qui lapte au pas de vis de l'épaulière et permet la réunion complète du que au vêtement imperméable. La face du casque est munie, à la ıteur des yeux, de deux carreaux fixes en verre fort épais de 0m,13 diamètre. A la hauteur de la bouche existe aussi un carreau mobile même diamètre, qui est placé dans un châssis en métal formant ɔas d'une vis dont l'ouverture du casque forme l'écrou; une rainure nt ce verre très-fixe, et on peut très-facilement le retirer, ce qui rmet au plongeur de respirer librement sitôt sa sortie de l'eau.

Les carreaux sont préservés par des petites grilles en métal. Le conit d'aspiration d'air pur et celui de décharge de l'air vicié sont ·mées à l'intérieur du casque par de petits canaux placées autour s carreaux; l'air pur arrive par le dessus et derrière la tête; le casque t muni à cet effet d'un pas de vis qui reçoit l'écrou d'un tuyau en outchouc de 0m,035 de diamètre, au moyen duquel la pompe envoie ir pur; l'air vicié sort par une petite soupape placée sur le derrière ι casque et dont la jonction s'opère sans permettre à l'eau de ntrer.

Pour se revêtir du scaphandre il faut procéder comme il suit :

On se revêt d'abord d'un camisole de grosse laine, d'un caleçon et une paire de bas de même étoffe, il faut mettre deux paires de bas la température le requiert; ensuite on endosse le vêtement en caoutıouc, qu'il faut avoir soin de placer auprès du feu afin qu'il se raıollisse dans le cas où il serait roide; sans cette précaution, on ɔurrait couper le caoutchouc. Ces vêtements mis, on pose sur ses ɔaules un coussin-couronne qu'on fait passer par-dessus la tête, et n passe ensuite la tête dans l'épaulière ou collet du casque, qu'on ıccorde au vêtement imperméable, en serrant fortement avec une ef les 13 écrous. Les mains sont entièrement libres, et afin que l'eau e s'introduise pas par les poignets du vêtement imperméable, on les e étroitement avec de larges bandelettes en caoutchouc, en ayant ien soin de placer des linges entre la peau et le vêtement; on met ne nouvelle paire de bas par-dessus le vêtement, qui doit être aussi ecouvert d'un surtout en toile à navire, dont le but est de le garantir e l'usure qui pourrait résulter du frottement et des chocs.

Le plongeur se garnit ensuite les pieds de forts souliers à semelles e plomb, il se recouvre la tête d'un gros bonnet de laine qu'on doit ɩien lui appliquer sur les oreilles, ce qui est urgent (il serait même ɩon de boucher ces dernières avec du coton). Dans cet état, on lui reouvre la tête du casque, sans placer le verre mobile de face; le asque est vissé sur l'épaulière de manière que le tube à air revienne ous le bras gauche, sur le devant du plongeur; on lui attache autour lu corps et sur le devant de l'épaule droite le cordage de signal et de sauvetage. On maintient le tube à air serré contre le corps par une

ceinture à laquelle est adapté un étui, contenant un couteau qui sert à trancher ce qui pourrait arrêter ou embarrasser le plongeur; on place des plaques de plomb, l'une sur le devant, l'autre sur le derrière; la corde qui les fixe doit enfiler les brides qui existent sur le casque, et après avoir passé par les poids elle est retenue par devant au moyen d'un nœud coulant.

Sur le ponton ou le quai d'où le plongeur doit descendre, on place le tuyau d'aspiration en forme de serpentin, de manière qu'il ne puisse se rouler et interrompre le passage de l'air; on adapte à la pompe une extrémité du tuyau et l'autre au casque, et on essaye si la pompe fonctionne parfaitement. Lorsque tout est bien disposé, et que le plongeur est prêt à descendre, on visse sur le devant du casque le verre mobile; à partir de ce moment la pompe à air ne doit pas cesser de fonctionner, car quoique le plongeur ne soit pas dans l'eau, il est entièrement privé d'air, puisque celui-ci ne peut plus lui arriver que par le tube du casque.

Avant de descendre dans l'eau, le plongeur fait régulariser le mouvement de la pompe suivant ses besoins, en faisant signe aux pompeurs d'agir plus ou moins vite suivant qu'il n'a pas assez ou qu'il a trop d'air. Le premier cas se fait sentir par l'arrivée des sueurs, des étouffements et des crampes d'estomac; alors la pompe doit fonctionner plus vite; il doit en être autrement si le plongeur ressent de forts sifflements d'oreille et des espèces de frissons.

La descente dans l'eau se fait au moyen d'une échelle fixée au fond par un lest. Les effets qui suivent l'immersion complète du plongeur sont d'abord un très-fort bourdonnement d'oreilles, un assourdissement de tous bruits extérieurs, et une obscurité presque complète qui cesse au bout de quelques minutes de séjour sous l'eau.

Si le plongeur s'éloigne à une grande distance de l'échelle, il doit y attacher une ficelle qu'il tient à sa main et qui lui permet de retrouver son chemin; il doit se munir aussi d'un levier qui lui sert d'appui, et de plus avoir soin de marcher de préférence à reculons, en tâtant s'il fait obscur; il doit se mouvoir lentement et dans des sens déterminés, afin de ne pas s'embarrasser dans le tube ou le cordon, et aussi pour éviter de briser les verres du casque en les cognant contre quelques pointes dures.

Deux hommes de confiance doivent être placés au-dessus de l'endroit où est descendu le plongeur, pour observer soigneusement le cordon de signal et le tube de respiration, qui doit toujours être modérément tendu; la surveillance de ces hommes doit être de toute confiance, on ne doit leur permettre aucune conversation qui pourrait distraire leur attention des signaux ou de toute autre circonstance. Si par la corde, qu'ils ne doivent pas quitter, ils sentent la moindre secousse due à une chute ou à tout autre accident, ils doivent haler

e suite le plongeur, en veillant à ce qu'il n'y ait aucune interruption dans la pompe. Aussitôt la tête hors de l'eau, le premier soin doit être de dévisser le verre mobile du casque, afin que le plongeur puisse respirer à l'aise.

Les surveillants doivent aussi signaler de temps en temps au plongeur que tout va bien; ce dernier doit leur répondre; dans le cas contraire il faut le haler. Les signaux se font en tirant la corde de sauvetage un certain nombre de fois convenu, en raison de la nature du travail. Le plongeur peut aussi correspondre avec les surveillants en écrivant ce qu'il désire sur une ardoise fixée à l'extrémité d'une corde; les surveillants lui répondent par le même moyen.

Nous terminons ces indications sur le scaphandre en engageant à suivre avec une scrupuleuse attention les indications données par M. Sièbe pour l'entretien de ses appareils; car si l'on négligeait de les nettoyer ou de les entretenir quand ils sont en magasin, il en résulterait des avaries qui les mettraient promptement dans l'impossibilité de pouvoir servir.

Pelle à couler et encaissement à revêtir. Avec l'encaissement à revêtir, on est parvenu à faire, à plusieurs mètres sous l'eau, au moyen du ciment de Vassy, et sans épuisements, des revêtements d'une épaisseur de 0m,10 à 0m,20, qui ont une parfaite adhérence avec les maçonneries restaurées, et qui présentent un parement droit et uni comme s'ils avaient été faits hors de l'eau avec la truelle.

De l'avis de MM. les ingénieurs qui se sont le plus spécialement occupés des effets produits par l'eau de mer sur les matières qui entrent dans la composition des mortiers hydrauliques (605), et entre autres MM. Vicat et Fabre[illegible]er, le moyen à adopter pour préserver les maçonneries en mortiers douteux consiste à faire, avec le plus grand soin, sur les parements, des rejointoiements ou des revêtements de 0m,05 à 0m,10 d'épaisseur, avec des ciments inattaquables par l'eau de mer, tels que ceux de Vassy et de Parker.

L'exécution de ces travaux préservatifs, assez simple pour des constructions neuves en cours d'exécution, présentait, pour la restauration des ouvrages, des difficultés qui se sont aplanies par l'usage du scaphandre et de l'encaissement à revêtir; c'est ce qu'ont démontré les revêtements sous-marins en ciment de Vassy exécutés par M. Gariel dans les ports de la Méditerranée, en France et en Algérie.

L'encaissement à revêtir est formé de deux poteaux en bois, d'une longueur supérieure à la profondeur de l'eau, et espacés d'environ 2m,00 d'axe en axe. Ces poteaux sont réunis à leur partie inférieure par une traverse horizontale, et le long de chacun d'eux est fixée une tige en fer de 0m,015 de diamètre. La paroi de l'encaissement destinée à former le parement du revêtement se compose d'une série de madriers en chêne de 0m,035 d'épaisseur et 0m,25 à 0m,30 de largeur, dont chacun

est garni à ses extrémités d'un piton à vis, lequel, en glissant le long des tiges en fer, fait que tous les madriers se superposent sur toute la hauteur des poteaux en formant une surface unie.

Avant de poser l'encaissement, on procède à la préparation des surfaces à revêtir ou des parois des affouillements à remplir, c'est-à-dire qu'on les dégrade ou qu'on les pique au vif pour les dépouiller des mousses et lichens. Cette opération s'exécute au moyen de longues barres à mine appointées, et de brosses de chiendent ou de balais adaptés à des manches assez longs pour atteindre le fond de l'eau. On dépouille ensuite le pied de la paroi des résidus du dégradage ou des autres matières qui y sont accumulés, en se servant de râteaux en fer ou de dragues à main.

On place alors la ferme de l'encaissement, qui descend verticalement dans l'eau, la traverse inférieure étant lestée au moyen de moellonnaille maintenue par des planches fixées contre les poteaux, du côté opposé au revêtement à exécuter. On amène la charpente de manière que quand les madriers seront en place leur face intérieure coïncide avec le parement que l'on veut obtenir; alors on la fixe solidement dans cette position au moyen d'amarres; puis, si le parement a partout la même épaisseur, on place tous les madriers de l'encaissement; dans le cas contraire, ou s'il y a des vides à remplir, on ne pose qu'un ou deux madriers à la fois, et on fait au fur et à mesure la partie correspondante du revêtement.

Le remplissage entre l'encaissement et le mur, c'est-à-dire l'exécution proprement dite du revêtement, se fait au moyen de la pelle à couler, instrument particulier à ce genre de travail, et qui est formé d'une lame de tôle de $0^m,45$ de côté, qui se relève sous un certain angle à partir d'environ la moitié de sa longueur, et qui est garnie d'une joue en retour d'équerre le long d'une arête longitudinale. Ce relèvement de l'extrémité de la joue suffit pour maintenir sur la pelle la matière que l'on descend dans l'encaissement. La saillie de la joue plus l'épaisseur du manche doit être égale à l'épaisseur la plus faible du revêtement, afin que la pelle puisse circuler partout avec la plus grande charge possible. La pelle à couler est garnie d'un pilon, dont le manche est aussi long que celui de la pelle, lequel doit sortir de $1^m,50$ au moins de l'eau lorsqu'on travaille au fond de l'encaissement.

Ayant placé la pelle horizontalement, l'ouvrier la garnit de mortier de ciment et de cailloux concassés, en couvrant, sur toutes les faces vues, cette espèce de béton par un enduit de $0^m,02$ d'épaisseur arasant la joue de la pelle. Ce garnissage de la pelle doit se faire avec rapidité, afin que l'immersion ait lieu au moment où le ciment commence à prendre, ce qui arrive parfois après une ou deux minutes.

La pellée étant bien régulièrement préparée, on la descend ver-

et avec précaution entre l'encaissement et le mur, en fai-
er le manche contre les madriers; arrivée à la profondeur
'ouvrier incline le manche vers lui de manière à rendre
é de la pelle à peu près verticale, et soulevant légèrement
le contenu s'en détache facilement; avec le pilon on le ré-
et on le fait adhérer à la paroi du mur et à la partie de pa-
déjà faite. Le pilon doit faire le nécessaire sans délayer le
sa manœuvre étant faite avec beaucoup de précaution, elle
ait qu'une laitance presque insensible avec un mortier très-
mposé de trois parties de ciment de Vassy pour deux de

d l'encaissement est garni jusqu'au niveau de l'eau, on le dé-
our le reposer à la suite et exécuter une nouvelle portion du
ient.

ré les difficultés d'exécution, avec des ouvriers habiles, soi-
et exercés comme ils doivent l'être, les revêtements en ciment
sy se font avec beaucoup de célérité. Ainsi, pour le revêtement
adations de la batterie Aljefna, à Alger, un atelier composé de
adeurs, 2 plongeurs, 3 poseurs, 3 gâcheurs de ciment et 2 ma-
res, en tout 16 ouvriers, faisait en moyenne deux longueurs
iissement par journée de 12 heures; la profondeur d'eau était
,00 à 2m,50, ce qui formait une surface de 5 à 6 mètres carrés
les deux encaissements.

CANAUX.

57. *Division des canaux.* Un canal construit latéralement à une
ère, que la pente, les sinuosités du lit et le régime des eaux ne
mettent pas de rendre économiquement navigable, prend le nom
canal latéral. Un canal destiné à établir une communication
re deux cours d'eau navigables est appelé *canal à point de*
rtage.

CANAL LATÉRAL.

738. *Tracé.* Un canal latéral a sa pente dans le même sens que le
urs d'eau qu'il longe, et il suit constamment la même vallée. Sa
osition doit être choisie telle, qu'il conserve l'eau nécessaire à la
avigation, que le cours de la rivière ne puisse pas le dégrader, et
ue les dépenses en acquisitions de terrains et en travaux soient les
noindres possibles.

Lorsque le sol de la vallée est de gravier plus ou moins pur,
omme cela arrive souvent, ce sol étant très-perméable, on doit tâ-

cher de placer le canal sur un sol végétal, en se rapprochant des coteaux; il est évident que l'on doit chercher à l'adosser à celui des coteaux qui est le moins abrupte, le moins couvert d'habitations, celui dont le sol est le moins perméable et le plus facile à travailler. Il faut éviter de faire passer un canal d'une rive sur l'autre, cette disposition entraînant dans des inconvénients pour la navigation et des dépenses considérables de construction.

Lorsqu'on établit un canal sur un sol graveleux couvert d'une couche de terre végétale, il faut avoir soin de ne pas enlever toute cette dernière, qui est plus ou moins imperméable; on ferait des emprunts de part et d'autre de l'emplacement du canal pour établir les digues, en ayant soin de placer les terres dans les parties en contact avec l'eau, et le gravier derrière ces terres.

La quantité d'eau dépensée dans un canal devant être la plus faible possible, il faut éviter de donner écoulement à l'eau (172). Aussi doit-on composer le canal de parties horizontales placées l'une à la suite de l'autre, à des étages différents, afin de racheter la pente du terrain, et d'éviter les grands travaux de construction en se rapprochant le plus possible de la surface du sol. On maintient l'eau à un niveau convenable dans ces différentes parties du canal à l'aide de portes d'écluses, et, afin de dépenser le moins d'eau possible au passage d'un bateau d'un bief dans un autre, on place dans le bief inférieur une seconde porte d'écluse, éloignée de la première d'une distance au moins égale à la longueur du bateau. La partie de canal ainsi comprise entre deux portes prend le nom de *sas*. En ouvrant la porte d'amont, le niveau de l'eau s'établit dans le sas et le bief supérieur, et permet de faire passer un bateau de ce bief dans le sas, ouvrant ensuite la porte d'aval, l'eau dans le sas descend jusqu'au niveau du bief d'aval, et alors le bateau passe dans ce bief.

Pour faire passer un bateau d'un bief dans le bief supérieur, on procède de la même manière, mais en commençant d'abord par ouvrir la porte d'aval.

Comme il est impossible d'ouvrir les portes tant qu'il existe une différence de charge considérable sur leurs deux faces, on établit au bas de chacune d'elles une petite vanne, appelée *ventelle*, qui permet d'établir le niveau de l'eau sur les deux faces de la porte avant de l'ouvrir. La queue de la ventelle s'élève jusqu'au haut de la porte, de manière qu'on puisse lui communiquer le mouvement à l'aide d'un cric, d'une vis, ou d'un levier simple; on est revenu à ce dernier moyen, qui demande moins de temps pour la manœuvre que le cric, qui est ordinairement employé, et surtout que la vis, que l'on a à peu près abandonnée (749).

Lorsque le canal est placé sur un sol dont la pente est à peu près uniforme, comme cela a lieu dans une vallée, en donnant aux écluses

›rte chute, on serait conduit à des dépenses considérables pour
ɜr l'amont de chaque bief et remblayer l'aval. Quand le canal
l est adossé à un coteau d'une pente douce, il faut, autant que
›le, se placer de manière que les déblais de la *cunette* compenses remblais des digues, et donner aux écluses la chute la plus
ɜnable, de $2^m,50$ à 3 mètres.

Ↄ. *Section transversale.* La largeur du fond d'un canal se fait à
›rès égale au double de celle des bateaux qui le fréquentent;
, selon que les écluses ont de $5^m,20$ à $6^m,50$ d'ouverture, la lar-
du plafond se fait de 10 mètres à 12 mètres. Au pont-canal de
t-Florentin, sur l'Armance, formé de cinq arches de $5^m,80$
argeur chacune, la largeur est de $10^m,10$, savoir : $2^m,45$ pour
ıue banquette et $5^m,20$ pour le canal; cette dernière dimension
celle des écluses et suffit au passage des bateaux.

ı profondeur d'eau est de $1^m,50$ pour plusieurs canaux, et elle est
$^m,65$ à 2 mètres pour d'autres; dans tous les cas, cette profondeur
être en rapport avec le tirant d'eau des bateaux qui fréquentent
anal.

es talus intérieurs sont ordinairement à 1 et 1/2 de base pour
e hauteur, et, afin que le batillage de l'eau ne les dégrade pas, le
s souvent on établit sur chacun d'eux, au niveau de l'eau, une
ite *riberme* de $0^m,25$ à $0^m,30$, sur laquelle on plante des glaïeuls.

.es chemins de halage ont de 3 à 6 mètres de largeur, selon la
ture du sol sur lequel ils sont établis et l'importance des trains
lés. Ils sont ordinairement placés à $0^m,50$ au-dessus du niveau de
au et quelquefois à $0^m,75$ ou 1 mètre.

740. *Alimentation.* Ordinairement l'alimentation d'un canal la-
ral n'offre aucune difficulté; la prise d'eau se fait dans la rivière
ı'il longe, et les ruisseaux tributaires de la rivière réparent de dis-
nce en distance les pertes dues aux infiltrations et à l'évaporation.
n a cependant quelquefois éprouvé des difficultés; ainsi le canal
ı Rhône au Rhin, quoique alimenté par une rigole navigable pre-
ant 20 mètres cubes d'eau par seconde dans le Rhin, n'a pendant
›ngtemps offert qu'une navigation incommode. Cela tient à ce que
canal est creusé sur un sol de gros gravier très-perméable; mais
omme on introduit une eau boueuse, les pertes de la rigole ont
iminué de jour en jour.

CANAUX A POINT DE PARTAGE.

741. *Tracé.* Le tracé d'un canal à point de partage exige une étude
approfondie, soit pour son alimentation, soit pour déterminer le
point bas de la chaîne de montagnes qu'il doit traverser; c'est en

ce point bas qu'il y aura le plus de chances de pouvoir se procurer les eaux nécessaires à la navigation. C'est d'après les considérations posées au n° 657 que l'on détermine le point bas.

Les sources d'eau se trouvant toujours à une certaine profondeur au-dessous de la surface du sol, ce n'est que par des tranchées ou même des souterrains que l'on pourra se procurer, au point de partage des deux branches du canal, la quantité d'eau nécessaire à la navigation. Malgré ces souterrains et ces tranchées, sauf le cas très-rare où le point bas se trouve au-dessous d'une assez grande étendue de terrain pour produire des ruisseaux ou des sources abondantes, on est obligé d'accumuler dans des réservoirs les eaux de pluie, afin de pouvoir en disposer pendant les sécheresses.

La dimension de ces réservoirs dépend du volume d'eau à fournir et de la plus ou moins grande rareté des pluies. La quantité d'eau qui afflue dans ces réservoirs dépend de l'étendue du terrain tributaire, des infiltrations, de la vaporisation et de l'absorption par la végétation. Il est impossible de tenir compte de toutes ces circonstances ; tout ce que l'on peut faire est d'admettre, avec quelques ingénieurs, que les cours d'eau écoulent les 3/7 du produit annuel des pluies. En France, ce produit annuel est de 0^{m},70 ; mais il convient d'observer qu'il tombe plus d'eau dans le Midi que dans le Nord, et dans les parties élevées d'un même pays que dans les plaines (685). D'après Gauthey, au canal du Midi, la superficie du terrain dont les eaux se déversent au point de partage est de 18 000 hectares; au canal de Bourgogne, 19 200 hectares; au canal de Briare, 29 700, et au canal du Centre, 30 800.

Le réservoir de Grosbois, canal de Bourgogne, a une capacité de 8 000 000 mètres cubes; sa profondeur est de 15 à 18 mètres. Celui de Saint-Ferréol, canal du Midi, contient 6 956 000 mètres cubes; la plus grande profondeur d'eau y est de 32^{m},50. Ces réservoirs s'obtiennent en barrant, au moyen d'une digue, l'endroit le plus resserré d'un vallon (717).

742. *Quantité d'eau à fournir à un canal.* Cette quantité doit compenser : 1° les pertes par évaporation, 2° par infiltration, 3° par les portes des écluses; 4° celles dues aux passages des bateaux dans les écluses, 5° celles dues au remplissage du canal après la mise à sec par suite des réparations annuelles. Il est évident que c'est surtout pour les parties voisines du point de partage qu'il faut s'assurer que les eaux affluentes compensent les pertes; car, à mesure que le canal descend, les ruisseaux tributaires deviennent plus nombreux et plus considérables.

743. *Évaporation.* La quantité d'eau évaporée dépend de la température et de toutes les circonstances atmosphériques; en général

a trouvé qu'elle était de 1me,50 par année ou de 0^{mc},004 par jour,
r mètre carré de surface d'eau (346).

744. *Infiltration.* On admet que la quantité d'eau absorbée par filtration est double de celle évaporée; au reste cette quantité varie lon la nature du terrain, et étant considérable à l'ouverture d'un nal, elle diminue chaque année. En rapportant les remblais, il ut avoir soin de labourer la terre sur laquelle on les pose, afin de ndre la liaison complète et diminuer les chances d'infiltration.

Sur un pont-canal, où il faut prendre les plus grandes précautions our éviter les infiltrations, après le décintrement des voûtes, on les ecouvre d'une couche de béton de 0^m,25 à 0^m,30 d'épaisseur; mais jusu'à présent on n'a obtenu un effet tout à fait efficace qu'en dallant le ond et les parois de la cunette en laves de Volvic, et en recouvrant e dallage de deux couches d'enduit de bitume. Le bon emploi que on fait aujourd'hui du ciment romain permet de substituer cette natière au dallage (596).

745. *La perte due aux portes d'écluses* dépend du soin apporté à la onstruction. Il paraît qu'en général on est au-dessus de la réalité en upposant que cette perte équivaut annuellement à la quantité d'eau que nécessiterait le passage de sept ou huit bateaux.

746. *Perte due au passage d'un bateau.* Lorsqu'un bateau monte, son passage d'un bief dans le bief supérieur oblige de faire passer de ce dernier dans le premier un volume d'eau égal à

$$P+B.$$

P volume d'un prisme ayant la section horizontale du sas pour base et la chute de l'écluse pour hauteur;
B volume d'eau déplacé par le bateau.

Quand au contraire le bateau descend, le volume de l'eau passant d'un bief dans le bief inférieur est $P-B$. Il résulte donc que chaque bateau qui monte une branche du canal pour redescendre l'autre, tire du bief de partage un volume d'eau égal à

$$(P+B)+(P-B)=2P.$$

Lorsque la navigation est active, après avoir fait passer un bateau d'un bief dans le bief supérieur, on utilise l'eau qui remplit le sas pour faire redescendre un autre bateau. Par cette précaution, la quantité d'eau tirée du bief de partage pour deux bateaux allant dans un sens différent n'est que 2P, ou P par bateau.

Si le bateau remontait vide pour prendre charge au point de partage, à son entrée dans le bief de partage il dépenserait un volume d'eau égal à $P+b$, b étant le volume d'eau déplacé par le bateau à vide; pour sortir du bief, le volume d'eau absorbé serait $P-B$; d'où il résulte que le passage du bateau dans le bief aurait absorbé un volume

d'eau égal à $2P + b - B$, volume qui est d'autant plus petit que P est plus grand et que b est plus petit. Ce cas favorable à l'économie de l'eau ne peut que bien rarement se présenter dans la pratique.

Il est arrivé quelquefois que l'on a été obligé, par suite d'une pente considérable du terrain, de placer plusieurs sas l'un à la suite de l'autre. Pour monter ces sas, il faut autant de prisme P d'eau qu'il y a de sas, plus un volume B; ainsi, à Fonserane, près de Béziers, où il y a sept sas, le passage d'un bateau montant absorbe un volume d'eau égal à $7P + B$, et celui d'un bateau descendant, un volume égal à $P - B$. Quand tous les sas sont vides, ce qui a lieu ordinairement, il faut encore ajouter à ces dépenses le volume d'eau nécessaire pour faire flotter le bateau dans le premier sas supérieur. Cette disposition des sas accolés est celle qui absorbe le plus d'eau et exige le plus de temps.

747. La cinquième dépense d'eau est facile à calculer, puisqu'elle est égale à la capacité du bief de partage et des biefs placés en amont des premières prises d'eau sur les deux versants.

748. *Construction des sas* (752). La longueur et la largeur d'un sas doivent être proportionnées aux dimensions des bateaux qui y circuleront. Quant à sa profondeur, elle comprend la hauteur de son couronnement au-dessus du niveau des eaux dans le bief d'amont, la chute ou différence de niveau de l'eau dans les deux biefs, et le tirant d'eau du bateau dans le sas. Le couronnement se tient ordinairement à 0m,50 au-dessus du niveau de l'eau. La chute varie de 2m,50 à 3 mètres pour les canaux artificiels; pour les écluses que l'on établit sur les rivières, dans les points où la profondeur est insuffisante à la navigation, la chute n'est que de 1 mètre à 1m,50 ou 2 mètres.

Une précaution à prendre dans la construction d'un sas, c'est de faire en pierres de taille tout le couronnement et toutes les parties formant des angles verticaux vifs ou arrondis, parce que des petits matériaux ne résisteraient pas aux chocs des bateaux contre ces parties. Ces pierres de taille doivent se relier parfaitement avec les autres parties de la maçonnerie ; aussi, pour cela, a-t-on soin que les joints verticaux de chacune d'elles ne correspondent pas aux joints des pierres voisines. Il faut éviter de placer le couronnement en saillie sur le parement des murs ou bajoyers, parce que les bateaux pourraient venir se placer dessous et en ébranler les pierres. La distance d'un joint montant à un angle rentrant ne doit pas être de moins de 0m,05 et l'épaisseur horizontale d'une pierre formant un angle saillant doit au moins être égale à la saillie de la pierre.

Afin de pouvoir mettre les sas à sec quand on a à réparer la porte d'amont, on refouille, dans le parement de chacun des bajoyers, en amont de l'écluse d'amont, une coulisse verticale servant à établir un barrage avec des pièces de bois allant d'une coulisse à l'autre. Lorsque

coulisses n'ont que les dimensions ordinaires, 0m,15 à 0m,20 de profondeur sur 0m,20 de largeur, on les refouille ordinairement dans la pierre; mais pour des dimensions plus grandes, il faudrait, de deux en deux assises, mettre un joint dans la coulisse.

Les *buscs* et les *chardonnets* doivent surtout être faits en pierres de premier choix et de fortes dimensions. Les buscs sont les saillies que l'on établit sur le fond du radier pour y faire contre-buter le bas des portes; on les appareille en voûte, afin qu'ils résistent bien à la poussée. Dans les écluses de petite navigation, la saillie du busc sur le radier peut être de 0m,20; mais si l'ouverture de l'écluse est plus considérable, comme les portes très-larges tendent à baisser du nez, pour éviter leur frottement sur le radier, on est obligé de les tenir un peu au-dessus du radier, et par suite d'augmenter la saillie du busc; ainsi, pour les écluses de 5m,20, 7 mètres et 8 mètres d'ouverture, cette saillie est de 0m,25, et pour les écluses de 8 mètres à 12 mètres et au-dessus, elle est de 0m,30. Les pierres formant les buscs doivent pénétrer de 0m,35 à 0m,40 dans le radier et s'étendre dans toute la largeur du busc, de manière que celui-ci ne soit formé que d'une hauteur de voussoir. Le busc forme mur de chute, et, afin que les eaux ne soient pas projetées contre les murs verticaux, on lui donne du côté d'aval une forme cylindrique verticale concave.

Les *chardonnets* sont destinés à résister à la poussée de l'arête verticale de chacune des portes de l'écluse. Cette arête verticale s'arrondit, ainsi que le refouillement du chardonnet contre lequel elle butte; mais, afin d'éviter le frottement de ces parties l'une contre l'autre dans la manœuvre de l'écluse, on ne place pas les tourillons de la porte dans l'axe du côté arrondi; leur position est telle, qu'il n'y a contact de ce côté contre le chardonnet que quand la porte est appliquée contre le busc, et que sitôt que la porte commence à s'ouvrir, ce contact cesse. Afin que les portes, quand elles sont ouvertes, ne fassent pas saillie sur les parements des murs, on met ceux-ci en retrait d'une quantité égale à l'épaisseur des portes, sur une longueur égale à la largeur de ces portes; c'est seulement en amont de ces retraites, appelées *enclaves*, que l'on fait les coulisses. Entre les enclaves et les coulisses, il faut laisser une épaisseur de pierre suffisante pour résister à la pression que produira un barrage établi dans les coulisses; cette séparation ne doit guère avoir moins de 0m,60. La distance de la coulisse au mur en retour qui raccorde le sas avec le bief est encore de 0m,60.

A l'exception des chaînes en pierres de taille placées aux points où se trouvent des angles, le parement du reste des murs bajoyers est construit en petits matériaux, si ce n'est cependant pour le mur de chute, où l'on fait usage de pierres de taille, afin que son parement résiste bien aux chocs des bateaux. Les pierres de taille formant le

couronnement de tous les murs doivent avoir des dimensions suffisantes pour résister à la poussée des terres à l'époque des gelées; on leur donne ordinairement $0^m,40$ d'épaisseur sur $0^m,75$ de largeur.

Les parements des bajoyers doivent être exécutés en matériaux durs et non attaquables par la gelée. Ils doivent se relier parfaitement avec la maçonnerie de remplissage placée derrière; on atteint bien ce but en disposant de distance en distance une boutisse de $0^m,70$ à $0^m,80$ ou même 1 mètre de longueur de queue. Les parements doivent être en pierre non gélive sur une épaisseur de $0^m,60$ au moins.

Le radier se raccorde avec les fonds des biefs d'amont et d'aval par des plates-bandes en pierres de taille faisant voûte du côté du radier de manière à le défendre. Les voussoirs formant ces plates-bandes ont de $0^m,80$ à 1 mètre de longueur, selon que le sas a une largeur de $5^m,20$ à $6^m,50$ et même au delà.

Dans le sas, il convient de faire le radier légèrement concave, afin de le rendre plus propre à résister à la sous-pression de l'eau quand on vide le sas. Les parties de radier placées dans les chambres d'amont et d'aval, et celles extérieures à ces chambres, sont planes.

Ordinairement, pour plus de solidité, on exécute en pierre de taille la partie de radier située sous les murs de chute, ainsi que celles placées dans les chambres des portes.

749. *Portes d'écluses*. Elles sont à deux vantaux symétriques butant l'un contre l'autre, et s'appuyant contre les buscs et les chardonnets. On les fait en bois, avec quelques ferrures pour les consolider; en fonte, bois et fer forgé; en fonte, bois et tôle, ou encore en fonte et bois.

En France, les portes sont le plus habituellement en bois; ce sont les moins chères, sous le point de vue des dépenses d'exécution. Au barrage éclusé du petit bras de la Seine, à Paris, les parois des portes sont formées d'une série de demi-cylindres en tôle, rivés entre eux dans toute leur longueur, et placés horizontalement et de manière que leur convexité se trouve vers l'amont.

Chaque vantail en bois est formé de deux poteaux: l'un, dit *poteau tourillon* parce qu'il porte les pivots, s'applique contre le chardonnet; l'autre, appelé *poteau busqué* parce qu'il vient s'appuyer ou busquer, par une face inclinée au plan du vantail, contre le poteau de même nom de l'autre vantail. Ces deux poteaux sont reliés entre eux par des entretoises horizontales supportant la pression de l'eau, et dont le nombre dépend de la hauteur de la porte; c'est contre ces entretoises que l'on fixe les madriers jointifs formant le bordage de la porte.

On tient les poteaux à $0^m,05$ ou $0^m,06$ du radier, afin qu'ils ne l'atteignent pas dans leur mouvement, et on les élève à $0^m,20$ ou $0^m,25$ au-dessus de l'eau, quand la porte est manœuvrée par une crémail-

circulaire; quand la porte est manœuvrée à l'aide d'un grand er qui réunit le haut des poteaux et fait en partie équilibre au ls de la porte, les poteaux s'élèvent à une certaine hauteur ausus des bajoyers.

'entretoise supérieure se place à $0^m,10$ environ au-dessus du ni-.u des eaux navigables, et celle inférieure à $0^m,10$ au-dessus du lier. Quant aux entretoises intermédiaires, on les place de manière e la pression que chacune d'elles supporte soit proportionnée à dimensions.

Pour évaluer la pression que supporte chaque entretoise, il conent de remarquer que la pression aux divers points de la hauteur une porte noyée seulement sur une face est proportionnelle à la uteur d'eau au-dessus de ces divers points; d'où il résulte que la ession totale sur la porte peut être représentée par la surface du angle ABC, figure 34, planche III, ayant pour hauteur la profonur de l'eau contre la porte, et pour base la même profondeur, qui t proportionnelle à la pression sur les points les plus bas de la rte : ainsi, H étant la profondeur d'eau, la pression totale sur aque unité de largeur de porte est $H \times \frac{H}{2} = \frac{H^2}{2}$.

La pression moyenne qui s'exerce sur tous les points de la porte est $\frac{H}{2}$, t c'est à cette pression moyenne que doit pouvoir résister l'ensemble es entretoises. Il convient de remarquer qu'il ne suffit pas que l'en-emble des entretoises puisse résister à cette pression, mais qu'il faut ussi les espacer de manière que chacune d'elles supporte la même harge (cela suppose qu'elles ont les mêmes dimensions). On aura la osition de chaque entretoise en divisant le triangle ABC en autant e parties équivalentes qu'il y a d'entretoises, par les droites *de*, *fg*, *hi* arallèles à la base, et en plaçant les entretoises à la hauteur du entre de gravité des trapèzes et du triangle formés par ces parallèles *Int.*, 1248 et 1445).

Appelant h_1, h_2, h_3,...... les distances des parallèles *de*, *fg*, *hi*.... u-dessous du point A, et n le nombre des entretoises ou des divisions de AB, on a respectivement $h_1^2 = H^2 \frac{n-2}{n-1}$, $h_2^2 = H^2 \frac{n-3}{n-1}$, $h_3^2 = H^2 \frac{n-4}{n-1}$, etc.

C'est à la hauteur des centres de gravité des trapèzes formés par les lignes CB, *de*, *fg*.... qu'il faut placer les entretoises, et la surface de chacun de ces trapèzes représente la pression que supporte chacune des entretoises. Dans la pratique, comme on est obligé de placer une entretoise au-dessus et au-dessous de la porte, on est forcé de s'écarter un peu des positions déterminées par la théorie pour les

SUPPLÉMENT.

783. *Honoraires des architectes et des experts.* Un arrêté du con-l des bâtiments civils du 12 pluviôse an VIII, sanctionné par la risprudence, fixe ces honoraires ainsi qu'il suit :

avaux ordinaires.	Rédaction des plans et devis.	1 et 1/2	pour 100.
—	Conduite des travaux.	1 et 1/2	—
—	Vérification et règlement des mémoires. .	2	—
Travaux publics.	Projets et devis approuvés ou susceptibles d'être approuvés ou mis en adjudication.	1 et 2/3	—
—	Direction, conduite, surveillance et tenue des attachements.	1 et 2/3	—
—	Réception, vérification et règlement des travaux.	1 et 2/3	—

Ces allocations ne comprennent pas les frais de voyage, qui sont fixés conformément tarif des expertises près les tribunaux :

	fr.
ɪur les architectes de Paris, Lyon Bordeaux et Rouen, par myriamètre, à. . .	6,00
ɪur les architectes des autres villes, par myriamètre, à.	4,50

Vacations et frais de voyage. Quand les honoraires ne peuvent être xés d'après les prix de revient des travaux, on applique le tarif es frais de procédure (décret du 16 février 1807) :

	fr.
our chaque vacation de trois heures, l'allocation de tout architecte, expert ou artiste, opérant dans le lieu de son domicile ou dans un rayon de deux myriamètres dans le département de la Seine, est de.	8,00
our les architectes dans les autres départements.	6,00
u delà de deux myriamètres, il est alloué, à titre de frais de voyage et de nourriture, par chaque myriamètre parcouru en allant et en revenant, aux architectes de Paris.	6,00
ceux des départements.	4,50
'endant leur séjour, il est alloué, à la charge de faire quatre vacations par jour, aux architectes de Paris.	32,00
ceux des départements.	24,00

Nota. La taxe est réduite quand le nombre quatre des vacations est réduit.

Il est alloué aux experts deux vacations : l'une pour la prestation de serment, l'autre pour le dépôt du rapport ; indépendamment de leurs frais de transport, s'ils sont do-

miciliés à plus de deux myriamètres de distance du lieu où siége le tribunal, il leur e alloué 1/5 de leur journée de campagne, ce qui supprime le prix de voyage e nourriture.

État de lieux. Prix de chaque rôle de vingt-cinq lignes par page, rédigé par un seul architecte et en double expédition. . . . .

En cas de rédaction contradictoire et simultanée par deux architectes. . . . . .

Pour toute expédition en plus, par rôle. . . . .

Pour tout état de lieux et estimation de matériel d'établissements agricoles et industriels, des théâtres, des usines, etc., pour plans et dessins y annexés, contre-vérification ou modification d'anciens états de lieux. . . . .

Nota. Les déplacements pour états de lieux, rédaction et vérification, donnent en sus droit aux honoraires et frais tarifés ci-dessus pour les experts près les tribunaux.

Honoraires des métreurs. Le tarif consacré par l'usage est basé sur le montant en demande des mémoires établis; il accorde

Pour les travaux de terrasse, maçonnerie, couverture, plomberie, carrelage	1,20 pour 100.
Pour ceux de peinture, menuiserie et serrurerie.	1,50 —

784. *Nomenclature des anciennes mesures* (Int. 218).

1° *Mesures de longueur*. L'unité principale de longueur était la *toise*, qui se subdivisait en 6 *pieds*, le pied en 12 *pouces*, le pouce en 12 *lignes* et la ligne en 12 *points*.

On avait encore la *perche des eaux et forêts*, de 22 pieds de longueur, et la *perche de Paris*, de 18 pieds.

Pour mesurer les étoffes, on se servait de l'*aune*, qui valait 3 pieds 7 pouces 10 lignes et 10 points, ou 1^{m},1884.

Les *mesures itinéraires* étaient la *lieue* et le *mille*.

La *lieue terrestre*, de 25 au degré, vaut 2280,32888 toises. Le méridien terrestre vaut 360 × 25 = 9000 lieues, ou 20 522 960 toises.

La *lieue marine*, de 20 au degré, vaut 2850,4111... toises.

La *lieue de poste* vaut 2000 toises.

Le *mille* vaut 1000 toises.

2° *Mesures de surface*. Ce sont : la *toise carrée*, le *pied carré*, le *pouce carré*, la *ligne carrée* et le *point carré*; surfaces carrées qui ont respectivement une toise, un pied, un pouce, une ligne et un point de côté. La toise carrée vaut 36 pieds carrés; le pied carré, 144 pouces carrés; le pouce carré, 144 lignes, et la ligne 144 points.

L'aune carrée équivaut à un carré d'une aune de côté.

Les *mesures agraires* étaient :

1° La *perche des eaux et forêts*, carré de 22 pieds de côté, ce qui fait 484 pieds carrés, ou 13$^{\text{toi.c.}}$,44 de surface;

2° L'*arpent des eaux et forêts*, qui vaut 100 perches, c'est-à-dire 48 400 pieds carrés, ou 1344$^{\text{toi.c.}}$,44;

3° La *perche de Paris*, carré de 18 pieds de côté, ce qui fait 324 pieds carrés ou 9 toises carrées de surface;

4° L'*arpent de Paris*, qui vaut 100 perches, c'est-à-dire 32 400 pieds carrés ou 900 toises carrées.

sures de volume. Ce sont : la *toise cube*, le *pied cube*, le *pouce cube*, etc.; cubes qui ont respectivement une toise, un pied, un pouce, etc., de côté. La toise cube vaut 216 pieds cubes; le pied cube vaut 1728 pouces cubes; le pouce cube, 1728 lignes cubes.

Pour les matières sèches, on se servait du *muid*; le muid de Paris valait 12 *setiers*; un setier, 12 *boisseaux*; un boisseau, 16 *litrons*, ou 13,01 litres (un muid valait donc 144 boisseaux).

Le *muid d'avoine* valait 12 setiers de chacun 24 boisseaux, ce qui faisait 288 boisseaux;

Le *muid de sel*, 12 setiers de chacun 16 boisseaux, ou 192 boisseaux;

Le *muid de charbon*, 10 setiers de chacun 32 boisseaux, ou 320 boisseaux;

Le *muid de chaux*, 12 setiers de chacun 12 boisseaux, ou 144 boisseaux, comme pour le froment;

Le *muid de plâtre*, 6 setiers de chacun 12 boisseaux, ou 72 boisseaux, moitié de celui de grain ou de chaux;

La *voie de bois* vaut 2 mètres cubes; la voie de charbon de bois, 2 hectolitres mesurés comble; la voie de charbon de terre, 30 demi-hectolitres mesurés comble;

La *corde des eaux et forêts* vaut 3,8394 *stères* ou mètres cubes, et, par suite, le stère vaut 0,2605 corde.

Mesures de capacité pour les liquides. Le *muid de Paris* valait 2 *feuillettes*; la feuillette, 2 *quartauts*; le quartaut, 9 *setiers* ou *velles*; le setier, 8 *pintes*; le muid valait 288 pintes, les liquides supposés sans lie.

La *pinte de Paris* valait 2 *chopines*; la chopine, 2 *demi-setiers*; le demi-setier, 2 *poissons*; le poisson, 2 *demi-poissons*; le demi-poisson, 2 *roquilles*.

Division de la circonférence. La circonférence se divisait en 360 parties égales appelées *degrés*; le degré, en 60 *minutes*; la minute, en 60 *secondes*; la seconde, en 60 *tierces*, etc.

Mesures de poids. Ce sont : le *quintal*, qui vaut 100 *livres*; la livre, qui vaut 2 *marcs*; le marc, 8 *onces*; l'once, 8 *gros*; le gros, 72 *grains*.

Unités monétaires. Ce sont : la *livre tournois*, qui vaut 20 *sous*; le sou, qui vaut 4 *liards*, et le liard, 3 *deniers*.

Les monnaies de cuivre ou de billon étaient les *liards*; les pièces de 2 liards, les pièces de 6 liards, les *sous* de 4 liards, et les *gros sous* de 8 liards.

Les monnaies d'argent étaient les pièces de 6 sous, de 12 sous, de 24 sous, le petit écu de 3 livres, et l'écu de 6 livres.

Les monnaies d'or étaient le *louis* de 24 livres et le *double-louis*.

Les pièces d'argent contenaient 11/12 de leur poids en argent pur et 1/12 de cuivre. Les pièces d'or contenaient 11/12 de leur poids en or pur, 1/24 en argent et 1/24 en cuivre.

Mesures temporaires. Les mesures temporaires étaient et sont encore le *siècle*, qui vaut 100 *ans*; l'année, qui vaut 12 *mois* ou 365 *jours*; à très-peu près tous les 4 ans, il y a une année qui est bissextile, c'est-à-dire qui contient 366 jours au lieu de 365; c'est afin de rétablir l'harmonie entre l'*année civile* et l'*année solaire*, durée d'une révolution entière de la terre autour du soleil; cette durée est de 365 jours, 5 heures, 48 minutes, 45 secondes (*Int.*, 215).

Le jour vaut 24 *heures*; l'heure, 60 *minutes*, et la minute, 60 *secondes*.

Les noms et durées des mois sont : *janvier*, 31 jours; *février*, 28 jours, et 29 pour les années bissextiles; *mars*, 31; *avril*, 30; *mai*, 31; *juin*, 30; *juillet*, 31; *août*, 31; *septembre*, 30; *octobre*, 31; *novembre*, 30; *décembre*, 31.

735. *Nomenclature des nouvelles mesures* (Int., 20).

1° *Mesures de longueur.* L'unité principale est le mètre, qui est égal à la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre, c'est-à-dire à [illegible]. Le mètre vaut 10 *décimètres*; le décimètre, 10 *centimètres*; le centimètre, 10 millimètres, etc.

Pour évaluer les grandes longueurs, on se sert du décamètre, qui vaut 10 mètres; de l'*hectomètre*, qui vaut 10 décamètres ou 100 mètres; du kilomètre, de 10 hectomètres ou 1000 mètres, et du myriamètre, de 10 kilomètres ou 10000 mètres.

2° *Mesures de surface.* Ce sont : le mètre *carré*, le décimètre *carré*, le centimètre *carré*, le *millimètre carré*. Le mètre carré vaut 100 décimètres carrés; le décimètre carré, 100 centimètres carrés, et le centimètre carré, 100 millimètres carrés.

Les *mesures agraires* sont l'*hectare*, ou arpent métrique, l'are et le centiare. L'hectare vaut 100 ares; l'are, 100 centiares, et le centiare, 1 mètre carré.

3° *Mesures de volume.* Ce sont : le mètre *cube*, le décimètre cube, le centimètre cube, etc. Le mètre cube vaut 1000 décimètres cubes; le décimètre cube, 1000 centimètres cubes; le centimètre cube, 1000 millimètres cubes, etc.

Pour mesurer les liquides on emploie : le décalitre, le litre et le décilitre. Le décalitre vaut 10 litres; le litre vaut 1 décimètre cube, et le décilitre est le 1/10 du litre.

Pour les matières sèches on fait usage du *kilolitre*, de l'hectolitre, du décalitre et du *litre*. Le décalitre vaut 10 litres; l'hectolitre, 10 décalitres ou 100 litres, et le kilolitre, 10 hectolitres ou 1000 litres.

Les bois s'évaluent au *stère* et au *décistère*. Le stère vaut 1 mètre cube; le décistère est le 1/10 du stère.

Dans les chantiers de Paris, le bois de chauffage se mesure à la voie, qui vaut 2 stères (304).

4° *Division de la circonférence.* La circonférence se divise en 400 parties égales appelées *degrés*; le degré vaut 100 minutes; la minute, 100 *secondes*; la seconde, 100 *tierces*, etc.

5° *Mesures de poids.* L'unité fondamentale est le *kilogramme*, qui est le poids d'un décimètre cube d'eau prise à la température de 4°; c'est la température correspondant à son maximum de densité; 100 kilogrammes forment le *quintal métrique*; 10 quintaux ou 1000 kilogrammes valent 1 millier, c'est le poids du *tonneau de mer*; le kilogramme vaut 10 *hectogrammes*; l'hectogramme, 10 *décagrammes*; le décagramme, 10 *grammes*; le gramme, 10 décigrammes; le décigramme, 10 *centigrammes*, etc.

6° *Unités monétaires.* Les unités monétaires sont : le *franc*; la pièce d'argent de 1 franc pèse 5 grammes; le franc vaut 10 *décimes*, et le décime, 10 centimes.

Les nouvelles monnaies d'argent sont les pièces de 5 francs (40 pèsent 1 kilogramme), de 2 francs, de 1 franc, d'un demi-franc et d'un cinquième de franc.

Les nouvelles monnaies d'or sont les pièces de 5, 10, 20, 50 et 100 francs; les pièces de 20 fr. pèsent [illegible], et les autres ont des poids proportionnels à leurs valeurs.

Les nouvelles monnaies d'argent et d'or contiennent 9/10 d'argent ou d'or pur et 1/10 d'alliage.

Les nouvelles monnaies de cuivre sont : la pièce de 2 centimes, le centime, le sou de 5 centimes, et le *gros sou*, de 10 centimes ou 1 décime (*Int.*, 940).

756. TABLES DE RÉDUCTION DES ANCIENNES MESURES EN NOUVELLES, ET RÉCIPROQUEMENT.

1° Toises, pieds et pouces en mètres, et lignes en millimètres.

NOMBRES d'unités.	TOISES. en mètres.	PIEDS en mètres.	POUCES en mètres.	LIGNES. en millimètres.
	m	m	m	millim.
1	1.94904	0.32484	0.027 07	2.256
2	3.89807	0.64968	0.054 14	4.512
3	5.84710	0.97452	0.081 21	6.767
4	7.79615	1.29936	0.108 28	9.023
5	9.74518	1.62420	0.135 35	11.279
6	11.69422	1.94904	0.162 42	13.535
7	13.64326	2.27388	0.189 49	15.791
8	15.59229	2.59872	0.216 56	18.047
9	17.54133	2.92355	0.243 63	20.302
10	19.49037	3.24839	0.270 70	22.558
11	21.43940	3.57323	0.297 77	24.814
12	23.38844	3.89807	0.324 84	27.070
13	25.33748	4.22291	0.351 91	29.326
14	27.28651	4.54775	0.378 98	31.582
15	29.23555	4.87259	0.406 05	33.837
16	31.18459	5.19743	0.433 12	36.093
17	33.13362	5.52227	0.460 19	38.349
18	35.08266	5.84711	0.487 26	40.605
19	37.03169	6.17194	0.514 33	42.861
20	38.98073	6.49679	0.541 40	45.117
21	40.92977	6.82163	0.568 47	47.372
22	42.87879	7.14647	0.595 54	49.628
23	44.82783	7.47131	0.622 61	51.884
24	46.77687	7.79615	0.649 68	54.140
25	48.72591	8.12099	0.676 75	56.396
26	50.67495	8.44583	0.703 82	58.652
27	52.62399	8.77066	0.730 89	60.907
28	54.57302	9.09550	0.757 96	63.163
29	56.52206	9.42034	0.785 03	65.419
30	58.47110	9.74518	0.812 10	67.675
31	60.42013	10.07002	0.839 17	69.931
32	62.36917	10.39486	0.866 24	72.187
33	64.31821	10.71970	0.893 31	74.442
34	66.26724	11.04454	0.920 38	76.698
35	68.21628	11.36938	0.947 45	78.954
36	70.16532	11.69422	0.974 52	81.210
37	72.11435	12.01905	1.001 59	83.466
38	74.06339	12.34388	1.028 66	85.722
39	76.01243	12.66873	1.055 73	87.977
40	77.96146	12.99358	1.082 80	90.233
41	79.91050	13.31842	1.109 87	92.489
42	81.85954	13.64326	1.136 94	94.745
43	83.80857	13.96810	1.164 01	97.001
44	85.75758	14.29293	1.191 08	99.257
45	87.70662	14.61777	1.218 15	101.512
46	89.65567	14.94261	1.245 22	103.768
47	91.60471	15.26745	1.272 29	106.024
48	93.55375	15.59229	1.299 36	108.280
49	95.50279	15.91713	1.326 43	110.536
50	97.45183	16.24197	1.353 50	112.792
100	194.90366	32.48394	2.707 00	225.583
1000	1949.03659	324.83943	27.069 95	2255.829
10000	19490.36591	3248.39432		

2° Toises carrées et pieds carrés en mètres carrés. — *Toises cubes et pieds cubes en mètres cubes.*

NOMBRES d'unités.	TOISES CARRÉES en mètres carrés.	PIEDS CARRÉS en mètres carrés.	NOMBRES d'unités.	TOISES CUBES en mètres cubes.	PIEDS CUBES en mètres cubes.
	m. carrés.	m. carrés.		m. cubes.	m. cubes.
1	3.7987	0.1055	1	7.4039	0.03428
2	7.5975	0.2110	2	14.8078	0.06855
3	11.3962	0.3166	3	22.2117	0.10283
4	15.1950	0.4221	4	29.6156	0.13711
5	18.9937	0.5276	5	37.0195	0.17139
6	22.7925	0.6331	6	44.4233	0.20566
7	26.5912	0.7386	7	51.8272	0.23994
8	30.3899	0.8442	8	59.2311	0.27422
9	34.1887	0.9797	9	66.6350	0.30850
10	37.9874	1.0552	10	74.0389	0.34277
11	41.7862	1.1607	11	81.4428	0.37705
12	45.5849	1.2663	12	88.8467	0.41133
13	49.3837	1.3718	13	96.2506	0.44560
14	53.1824	1.4773	14	103.6545	0.47988
15	56.9812	1.5828	15	111.0584	0.51416
16	60.7799	1.6883	16	118.4622	0.54844
17	64.5786	1.7938	17	125.8661	0.58271
18	68.3774	1.8994	18	133.2700	0.61699
19	72.1761	2.0049	19	140.6739	0.65127
20	75.9749	2.1104	20	148.0778	0.68555
21	79.7736	2.2159	21	155.4817	0.71983
22	83.5724	2.3214	22	162.8856	0.75410
23	87.3711	2.4270	23	170.2895	0.78838
24	91.1698	2.5325	24	177.6935	0.82266
25	94.9686	2.6380	25	185.0973	0.85694
26	98.7673	2.7435	26	192.5012	0.89121
27	102.5661	2.8490	27	199.9050	0.92549
28	106.3648	2.9546	28	207.3089	0.95977
29	110.1636	3.0601	29	214.7128	0.99404
30	113.9623	3.1656	30	222.1167	1.02832
31	117.7610	3.2712	31	229.5206	1.06260
32	121.5598	3.3767	32	236.9245	1.09688
33	125.3585	3.4822	33	244.3284	1.13115
34	129.1573	3.5877	34	251.7323	1.16543
35	132.9560	3.6932	35	259.1362	1.19971
36	136.7548	3.7987	36	266.5401	1.23398
37	140.5535	3.9042	37	273.9439	1.26826
38	144.3523	4.0098	38	281.3478	1.30254
39	148.1510	4.1153	39	288.7517	1.33681
40	151.9497	4.2208	40	296.1556	1.37109
41	155.7485	4.3263	41	303.5595	1.40537
42	159.5472	4.4319	42	310.9634	1.43965
43	163.3460	4.5374	43	318.3673	1.47394
44	167.1447	4.6429	44	325.7712	1.50820
45	170.9435	4.7484	45	333.1751	1.54248
46	174.7422	4.8539	46	340.5790	1.57675
47	178.5409	4.9595	47	347.9830	1.61103
48	182.3397	5.0650	48	355.3871	1.64531
49	186.1384	5.1705	49	362.7909	1.67959
50	189.9372	5.2760	50	370.1945	1.71387
100	379.8744	10.5522	100	740.3890	3.42773
1000	3798.7436		1000	7403.8903	

3° *Mètres en toises, pieds, pouces et lignes.*

NOMBRES d'unités.	MÈTRES en toises.	MÈTRES en toises, pieds, pouces, lignes.				MÈTRES en pieds, pouces, lignes.		
	toises.	toises.	pi.	pouc.	lignes.	pieds.	pouc.	lignes.
1	0.513074	0	3	0	11.296	3	0	11.296
2	1.026148	1	0	1	10.592	6	1	10.592
3	1.539222	1	3	2	9.888	9	2	9.888
4	2.052296	2	0	3	9.184	12	3	9.184
5	2.565370	2	3	4	8.480	15	4	8.480
6	3.078444	3	0	5	7.776	18	5	7.776
7	3.591518	3	3	6	7.072	21	6	7.072
8	4.104592	4	0	7	6.368	24	7	6.368
9	4.617666	4	3	8	5.664	27	8	5.664
10	5.13074	5	0	9	4.960	30	9	4.960

4° *Décimètres en pieds, pouces et lignes; centimètres en pouces et lignes, et millimètres en lignes.*

NOMBRES d'unités	DÉCIMÈTRES en pieds, pouces, lignes.			CENTIMÈTRES en pouces et lignes.		MILLIMÈTRES. en lignes.
	pieds.	pouces.	lignes.	pouces.	lignes.	lignes.
1	0	3	8.330	0	4.433	0.443
2	0	7	4.659	0	8.866	0.887
3	0	11	0.989	1	1.299	1.330
4	1	2	9.318	1	5.732	1.773
5	1	6	5.648	1	10.165	2.216
6	1	10	1.977	2	2.598	2.660
7	2	1	10.307	2	7.031	3.103
8	2	5	6.637	2	11.464	3.546
9	2	9	2.966	3	3.897	3.990
10	3	0	11.296	3	8.330	4.433

5° *Mètres carrés et cubes en toises carrées et cubes.* — *Mètres carrés et cubes en pieds carrés et cubes.*

NOMBRES d'unités.	MÈTRES CARRÉS en toises carrées.	MÈTRES CUBES en toises cubes.	NOMBRES d'unités.	MÈTRES CARRÉS en pieds carrés.	MÈTRES CUBES en pieds cubes.
	toises carrées.	toises cubes.		pieds carrés.	pieds cubes.
1	0.2632	0.1351	1	9.48	29.17
2	0.5265	0.2701	2	18.95	58.35
3	0.7897	0.4052	3	28 43	87.52
4	1.0530	0.5403	4	37.91	116.70
5	1.3162	0.6753	5	47.38	145.87
6	1.5795	0.8104	6	56.86	175.04
7	1.8427	0.9454	7	66.34	204.22
8	2.1060	1.0805	8	75.81	233.39
9	2.3692	1.2156	9	85.29	262.56
10	2.6324	1.3506	10	94.77	291.74

6° *Dans la construction des tables qui précèdent, on a adopté les valeurs suivantes :*

Toise. . . . . 1,949 036 5912 mètres.
Toise carrée. . . . . 3,798 743 6338 mètres carrés.
Toise cube . . . . 7,403 890 3430 mètres cubes.
Mètre. . . . . 0,513 074 de toise.
Mètre carré. . . . . 0,263 214 929 476 de toise carrée.
Mètre cube. . . . . 0,135 064 128 956 de toise cube.

7° *Mesures itinéraires.*

La lieue de 25 au degré. . . . . . . vaut . . . . 4,444 kilomètres.
La lieue marine, de 20 au degré. . — . . . . 5,556 —
La lieue de poste, de 2000 toises. . — . . . . 3,898 —
Le mille, de 1000 toises. . . . . . — . . . . 1,949 —
1 kilomètre vaut. . . . . 0,22499 lieue de 25 au degré.
— . . . . 0,17778 — 20 au degré.
— . . . . 0,26651 — 2000 toises.
— . . . . 0,53302 mille.

8° *Mesures agraires.*

	PIEDS CARRÉS.	TOISES CARRÉES.	MÈTRES CARRÉS.
Perches des eaux et forêts. . . .	484	13.44	51.07
Arpent des eaux et forêts. . . .	48 400	1 344.44	5 107.20
Perche de Paris.	324	9	34.19
Arpent de Paris.	32 400	900	3 418.87
Are.	947.7	26.32	100
Hectare.	94 768.2	2 632.45	10 000

9° *Arpents en hectares.* *Hectares en arpents.*

NOMBRES d'arpents.	ARPENTS de 100 perches de 22 pieds de côté.	ARPENTS de 100 perches de 18 pieds de côté.	NOMBRES d'hectares.	ARPENTS de 100 perches de 22 pieds.	ARPENTS de 100 perches de 18 pieds.
	hectares.	hectares.		arpents	arpents.
1	0.5107	0.3419	1	1.9580	2.9249
2	1.0214	0.6838	2	3.9160	5.8499
3	1.5322	1,0257	3	5.8741	8.7748
4	2.0429	1.3675	4	7.8321	11.6996
5	2.5536	1.7094	5	9.7901	14.6247
6	3.0643	2.0513	6	11.7481	17.5497
7	3.5750	2.3932	7	13.7061	20.4746
8	4.0858	2.7351	8	15.6642	23.3995
9	4.5965	3.0770	9	17.6222	26.3245
10	5.1072	3.4189	10	19.5802	29.2494
100	51.0720	34.1887	100	195.8020	292.4944
1000	510.7198	341.8869	1000	1958.0201	2924.9437

Réduction des setiers de 12 boisseaux de 13¹,01 en hectolitres. — *Réduction des hectolitres en setiers.*

SETIERS.	HECTOLITRES.	HECTOLITRES.	SETIERS.
1	1.56	1	0.641
2	3.12	2	1.282
3	4.68	3	1.923
4	6.24	4	2.564
5	7.80	5	3.205
6	9.36	6	3.846
7	10.92	7	4.487
8	12.48	8	5.128
9	14.04	9	5.769
10	15.60	10	6.410
50	78.00	50	32.051
100	156.00	100	64.102

11° *Réduction des muids de grain, de sel, d'avoine et de charbon en hectolitres.*

NOMBRES de muids.	GRAIN. — Muid de 144 boisseaux.	SEL. — Muid de 192 boisseaux.	AVOINE. — Muid de 288 boisseaux.	CHARBON. — Muid de 320 boisseaux.
	hect.	hect.	hect.	hect.
1	18.73	24.98	37.46	41.60
2	37.46	49.95	74.93	83.30
3	56.20	74.93	112.39	124·80
4	74.93	99.90	149 86	166.50
5	93.66	124.88	187.32	208.10
6	112.39	149.86	224.78	249.80
7	131.12	174.83	262.25	291.40
8	149.86	199.81	299.71	333.00
9	168.59	224.78	337.18	374.60
10	187.30	249.80	374.60	416.00

12° *Réduction des pintes en litres.* — *Réduction des veltes en litres.* — *Réduction des litres en pintes.*

PINTES.	LITRES.	VELTES.	LITRES.	LITRES.	PINTES.
1	0.952	1	7.62	1	1.05042
2	1.904	2	15.23	2	2.10
3	2.856	3	22.85	3	3.15
4	3.808	4	30.46	4	4.20
5	4.760	5	38.08	5	5.25
6	5.712	6	45.70	6	6.30
7	6.664	7	53.31	7	7.35
		8	60.93	8	8.40
		9	68.54	9	9.49
		10	76.16	10	10.50

13° *Conversion des anciens poids en nouveaux.*

GRAINS.	GRAMMES.	ONCES.	GRAMMES.	LIVRES.	KILOGRAMMES.
10	0.53	1	30.59	1	0.4895
20	1.06	2	61.19	2	0.979
30	1.59	3	91.78	3	1.4685
40	2.12	4	122 38	4	1.9580
50	2.66	5	152.97	5	2.4475
60	3.19	6	183.56	6	2.937
70	3.72	7	214.16	7	3.4265
GROS.		8	244.75	8	3.9160
1	3.82	9	275.35	9	4.4056
2	7.65	10	305.94	10	4.8951
3	11.47	11	336.53	50	24.4753
4	15.30	12	367.14	100	48.9506
5	19.12	13	397.73	500	244.7529
6	22.94	14	428.33	1000	489.5058
7	26.77	15	458.94		

14° *Conversion des nouveaux poids en anciens.*

GRAMMES.	ONCES.	GROS.	GRAINS.	GRAMMES.	LIVRES.	ONCES.	GROS.	GRAINS.
0.05	0	0	0.94136	300	0	9	6	32
0.10	0	0	1.88	400	0	13	0	43
0.15	0	0	2.82	500	1	0	2	53
0.20	0	0	3.77	600	1	3	4	64
0.25	0	0	4.71	700	1	6	7	8
0.50	0	0	9.41	800	1	10	1	43
0.75	0	0	14.12	900	1	13	3	24
1	0	0	18.83	kil. 1	2	0	5	35.15
2	0	0	37.65	2	4	1	2	70
3	0	0	56.48	3	6	2	0	33
4	0	1	3.30	4	8	2	5	69
5	0	1	22.14	5	10	3	3	32
6	0	1	41	6	12	4	0	67
7	0	1	60	7	14	4	6	30
8	0	2	7	8	16	5	3	65
9	0	2	25	9	18	6	1	28
10	0	2	44	10	20	6	6	64
20	0	5	17	20	40	13	5	55
30	0	7	61	30	61	4	4	47
40	1	2	33	40	81	11	3	38
50	1	5	5	50	102	2	2	30
60	1	7	50	60	122	9	1	21
70	2	2	22	70	143	0	0	13
80	2	4	66	80	163	6	7	4
90	2	7	38	90	183	13	5	68
100	3	2	11	100	204	4	4	59
200	6	4	21					

Le kilogramme, ou le poids d'un décimètre cube d'eau distillée considérée au maximum de densité vaut . . . . 18827.15 grains.
La livre vaut. . . . . 9216 grains.
Donc, la livre vaut. . . . . 0.489505847 kilog.
Et le kilogramme. . . . . 2.042876519 livres.

15° *Conversion des nouveaux poids en anciens.*

GRAM.	LIVRES.	GRAMMES.	GRAINS.	DÉCIGRAM.	GRAINS.
1	2.0429	1	18.827	1	1.9
2	4.0858	2	37.6	2	3.8
3	6.1286	3	56.5	3	5.6
4	8.1715	4	75.3	4	7.5
5	10.2144	5	94.1	5	9.4
6	12 2573	6	113.0	6	11.3
7	14.3001	7	131.8	7	13.2
8	16.3430	8	150.6	8	15.1
9	18.3859	9	169.4	9	16.9
10	20.4288	10	188.27	10	18.8

187. TABLE DE COMPARAISON DES MESURES ANGLAISES AUX MESURES FRANÇAISES.

Mesures de longueur.

Anglaises.	Françaises.
ıce (1/36 du yard)	2.539 954 centimètres.
d (1/3 du yard)	3.047 9449 décimètres.
·d impérial	0.914 38348 mètre.
thom (2 yards)	1.828 76696 mètre.
le ou perch (5 et 1/3 yards)	5.029 11 mètres.
ırlong (220 yards)	201.164 37 mètres.
ille (1760 yards)	1609.314 9 mètres.
Françaises.	**Anglaises.**
illimètre	0.039 37 pouce.
entimètre	0.393 708 pouce.
écimètre	3.937 079 pouces.
ıètre	39.370 79 pouces. 3,280 8992 pieds. 1.093 633 yards.
lyriamètre	6.213 8 milles.

Mesures de superficie.

Anglaises.	Françaises.
Yard carré	0.836 097 mètre carré.
Rod (perche carrée)	25.291 939 mètres carrés.
Rood (1210 yards carrés)	10.116 775 ares.
Acre (4840 yards carrés)	0.404 671 hectares.
Françaises.	**Anglaises.**
Mètre carré	1.196 033 yard carré.
Are	0.098 845 rood.
Hectare	2.471 148 acres.

Mesures de capacité.

Anglaises.	Françaises.	
Pint (1/8 de gallon).	0.567 932	litre.
Quart (1/4 de gallon).	1.135 864	litre.
Gallon impérial.	4.543 457 97	litres.
Peck (2 gallons).	9.086 915 9	litres.
Bushel (8 gallons)	36.347 664	litres.
Sack (3 bushels)	1.090 43	hectolitre.
Quarter (8 bushels).	2.907 813	hectolitres.
Chaldron (12 sacks).	13.085 16	hectolitres.
Françaises.	**Anglaises.**	
Litre	1.760 773	pint.
	0.220 096 7	gallon.
Décalitre.	2.200 966 8	gallons.
Hectolitre	22.009 668	gallons.

Poids.

Anglais (Troy).	Français.	
Grain (1/24 de pennyweight)	0.065	gramme.
Pennyweight (1/20 d'once)	1.555	gramme.
Once (1/12 de livre troy).	31.091	grammes.
Livre troy impériale	0.373 096	kilogramme.
Anglais (avoirdupois).	**Français.**	
Dramm (1/16 d'once).	1.771	gramme.
Once (1/16 de la livre).	28,338	grammes.
Livre avoirdupois impériale.	0.453 4	kilogramme.
Quintal (112 livres).	50.78	kilogrammes.
Tonne (20 quintaux)	1015.65	kilogrammes.
Français.	**Anglais.**	
Gramme	15.438	grains troy.
	0.643	pennyweight.
	0.032 2	once troy.
Kilogramme.	2.680 3	livres troy.
	2.205 5	livres avoirdupois.

788. *Conversion des mesures anglaises en mesures françaises.*

MB. ités.	POUCES en centimètres.	PIEDS en mètres.	MILLES en kilomètres.	PIEDS carrés en mètres carrés.	PIEDS CUBES en mètres cubes.	LIVRES par pouce carré en kilog. par centimètre carré.
1	2.5400	0.3047945	1.6093	0.09290	0.028314	0.0702774
2	5.0799	0.6095890	3.2186	0.18580	0.056628	0.1405548
3	7.6199	0.9143835	4.8279	0.27870	0.084942	0.2108322
4	10.1598	1.2197680	6.4373	0.37160	0.113256	0.2811096
5	12.6998	1.5239724	8.0466	0.46450	0.141570	0.3513870
6	15.2397	1.8287669	9.6559	0.55740	0.169884	0 4216644
7	17.7797	2.1335614	11.2652	0.65030	0 198198	0.4919418
8	20.3196	2.4383559	12.8745	0.74320	0.226512	0.5622192
9	22.8596	2.7431504	14.4838	0.83610	0.254826	0.6324966
10	25.4000	3.0479450	16.0930	0.92900	0.283140	0.7027740

NOMBRES d'unités.	LIVRES en kilogrammes.	TONNES ou tonneaux de 1000 kil..	LIVRES STERL. en francs.	SCHELLING en francs.	PENCES ou deniers en centimes.
1	0.4534148	1.015649	25.2080	1.2604	10.5033
2	0.9068296	2.031298	50.4160	2.5208	21.0066
3	1.3602444	3.046947	75 6240	3.7812	31.5099
4	1.8136592	4.062596	100·8320	5.0416	42.0132
5	2.2670740	5:078245	126·0400	6.3020	52.5165
6	.7204888	6.093894	151·2480	7.5624	63.0198
7	2 1739036	7.109543	176 4560	8.8228	73.5231
8	6273184	8.125492	201·6640	10.0832	84.0264
9	4·0807332	9.140841	226.8720	11.3436	94.5297
10	4.5341480	10.156490	252.0800	12.6040	105.0330

Le *mille* vaut 5280 pieds anglais ; il en faut 2 et 1/2 pour faire une lieue.

La *livre sterling* vaut à peu près 25 francs.

Le *schelling* (1/20 de la livre sterling) vaut environ 1 fr. 25.

Le *penny* ou denier, monnaie de cuivre (1/12 de schelling), diffère très-peu du décime.

Le schelling et le penny ont une valeur intrinsèque un peu moindre que leur valeur nominale portée au tableau. Voici du reste le tableau des monnaies anglaises, de leur titre et de leur valeur courante dans le commerce.

MONNAIES.	TITRES.	VALEUR en schelling et penny.		FRANCS
Or.				
Guinée.	0.917	21 sch.	0 pen.	26f.[illegible]
Demi-guinée.	0.917	10	6	13.1[illegible]
Souverain	0.916	20	0	25.[illegible]
Demi-souverain.	0.916	10	0	12.5[illegible]
Argent.				
Couronne.	0.923	5	0	6.2[illegible]
Demi-couronne.	0.923	2	6	3.1[illegible]
Schelling.	0.923	0	12	1.[illegible]
Demi-schelling.	0.923	0	6	0.[illegible]
Cuivre.				
Penny ou denier.	»	0	1	0.1[illegible]
Demi-penny.	»	0	0.5	0.[illegible]

759. *Mesures russes.*

1° De longueur : la *sagène* vaut 7 *pieds* ou 2m,1336 ; le pied, 12 pouces ou 0m,[illegible] ; le pouce, 10 lignes ou 0m,0254, et la ligne 0m,00254.

Dans les constructions, on emploie l'*archine*, qui est le tiers de la sagène, et qui vaut 16 *verchkoffs* ou 0m,7115, le verchkoff vaut 0m,0444.

La mesure itinéraire est la *verste*, qui vaut 1067 mètres.

2° De capacité pour les liquides : le *tonneau* vaut 40 *vedros* ou 471l,56 ; le vedro, 10 *kruskas* ou 8 *chtoffs* ou 12l,289 ; le kruska, 10 *tcharkis* ou 1l,[illegible].

Pour les matières sèches, on emploie le *tchetvert* qui vaut 8 tchetvericks ou 209l,740 ; le tchetverick vaut 8 *garnetz*, et le garnetz 3l,277.

3° De poids : le *berkobetz* vaut 10 *pouds* ou 163k,72 ; le poud, 40 livres ou 16k,3[illegible]. la livre, 96 *zolotnicks* ou 0k,409388 ; le *zolotnick*, 96 *doleis*, et le dolei 0k,000[illegible].

4° *Tableau des monnaies russes.*

MONNAIES.	TITRE.	VALEUR.	
Or.		rouble.	fr.
Ducat à l'aigle éployée	0.979	2.95	11.7[illegible]
Ducat de 1763	0.969	2.90	11.5[illegible]
Pièces de Paul Ier et Alexandre Ier (dites de 10 roubles)	0.969	13.10	52.3[illegible]
Pièces de 5 roubles (de 1849).	0.916	5.16	20.66
Argent.			
Rouble	0.868	4 solotniks.	4.00
Solotnik	0.868	5 copecks.	1.00
Copeck.	0.868	»	0.20

760. *Évaluations, en mesures françaises, des principales mesures linéaires étrangères, à l'usage du commerce.*

		millim.
terdam	*aune*	696.3
ers	*aune de soie*	694.3
	aune de laine	684.4
in	*aune* (ancienne mesure)	667.7
	aune (nouvelle mesure)	666.9
ne	*aune*	542.5
ogne	*brasse*	645.2
nswick	*aune*	570.7
me	*aune*	578.4
liari	*raso*	549.3
rare	*canne pour les bois*	624.6
	brasse marchande	619.7
	palme pour les marbres	249.3
ssel	*aune*	569.4
logne	*aune*	575.2
nstantinople	*grande mesure*	669.1
	petite mesure	647.9
penhague	*aune danoise*	627.7
acovie	*aune*	617.0
émone	*brasse* (d'après les tavole di Ragguaglio)	594.9
esde	*aune*	566.5
rrare	*brasse pour la soie* (tables italiennes)	634.4
	brasse pour le coton et le linge (tables ital.)	673.6
orence	*brasse*	594.2
ancfort-sur-Mein	*aune*	547.8
ênes	*palme* (commission génoise)	248.3
enève	*aune*	1143.7
lambourg	*aune de Hambourg*	573.0
	aune de Brabant	691.4
lanovre	*aune*	584.0
larlem	*aune ordinaire*	683.5
	aune pour le linge	742.6
Leyde	*aune*	683.1
Leipsick	*aune*	565.3
Lisbonne	*vare*	1092.9
Lubeck	*aune*	577.0
Lucques	*brasse*	595.1
Madrid	*vare* (aune de Castille)	848.0
Mantoue	*brasse*	643.8
Milan	*brasse*	594.9
Modène	*brasse*	648.1

Munich	aune
Naples	canne (8 palmes napolitaines)
Neufchâtel	aune
Nuremberg	aune
Ostende	aune
Padoue	brasse pour le drap
	brasse pour la soie
Palerme	canne divisée en 8 palmes
Parme	brasse pour la laine, le coton et le linge
	brasse pour la soie
Pavie	brasse
Pétersbourg	archine
Raguse	aune
Riga	aune
Rome	canne des marchands (divisée en 8 palmes
	brasse des marchands divisée en 4 palmes
	brasse des tisserands divisée en 3 palmes
Rostock	aune
Stockholm	aune de Suède
Stuttgard	aune de Wurtemberg
Turin	raso divisé en 14 onces (rassali [illegible]
Varsovie	aune
Vérone	grande brasse
	petite brasse
Weimar	aune
Venise	brasse de laine
	brasse de soie
Vicence	brasse de drap
	brasse de soie
Vienne	aune de Vienne
	aune de la haute Autriche
Zurich	aune

764. *Réduction des principales mesures linéaires étrangères en mesures métriques.*

Amsterdam	pied
Anvers	pied
Berlin	pied du Rhin (rendu légal dans toute la Prusse
Berne	pied
Brunswick	pied
Brême	pied

		millim.
ari	palme, mesure du pays	248.367
	palme, mesure de la ville	202.573
aberg	pied	293.032
ruhe	pied nouveau	300.000
el	pied de construction	284.911
e	pied	306.288
gne sur le Rhin (Prusse)	pied	313.854
stantinople	grand pick	669.079
	petit pick ou draa stambulin	617.874
enhague	pied	313.621
covie	pied	356.121
mstadt	pied de construction	300.000
sde	pied	283.260
lach	pied	291.002
pte	coudée antique	525.924
pagne	pied de Madrid, d'après Lhoman	282.655
	vare de Castille, d'après Ciscar	835.906
	vare de la Havane, 3 pieds de Madrid	847.965
tha	pied	287.618
mbourg	pied	286.490
anovre	pied	291.995
isbonne	palme	218.590
	pied de construction	338.600
ubeck	pied	291.002
iddelbourg	pied	300,025
lunich	pied	291.859
eufchâtel	pied	300.025
uremberg	pied	303.793
ldembourg	pied	296.416
Pétersbourg	pied russe	538.451
	archine	711.480
Rostock	pied	291.002
Stockholm	pied	296.838
Stuttgard	pied	286.490
Varsovie	pied	297.769
Weimar	pied	281.972
Vienne	pied	316.103
Wiesbaden	pied	287.844
Zante et Céphalonie	pied	347.398
Zurich	pied	301.379

762. *TABLEAU des équivalents chimiques des différents corps, celui de l'[illegible] étant représenté par 100.*

SUBSTANCES.	FORMULES.	[illegible]
Acide acétique (dens. 1063).	$C^4H^4O^4 = C^4H^3O^3 + HO$	[illegible]
Acétates.	$C^4H^3O^3 + RO$	[illegible]
Acétates hydratés.	$C^4H^3O^3 + RO + nHO$	[illegible]
Alcool.	$C^4H^6O^2$	[illegible]
Aluminium.	Al.	[illegible]
Alumine.	Al^2O^3	[illegible]
Chlorure d'aluminium.	Al^2Cl^3	[illegible]
Alun potassique.	$3SO^3, Al^2O^3 + SO^3, KO + 24HO$	[illegible]
— ammonique.	$3SO^3, Al^2O^3 + SO^3, AzH^3, HO + 24HO$	[illegible]
Ammoniaque.	AzH^3	[illegible]
Sulfate d'ammoniaque.	SO^3, AzH^3, HO	[illegible]
Azotate —	AzO^5, AzH^3, HO	[illegible]
Oxalate —	$C^2O^3, AzH^3, HO + HO$	[illegible]
Antimoine.	Sb.	[illegible]
Oxyde d'antimoine.	SbO^3	[illegible]
Acide antimonieux	SbO^4	[illegible]
Acide antimonique.	SbO^5	[illegible]
Protochlorure, sulfure, iodure.	$SbCl^3, S^3, I^3$	
Perchlorure, sulfure.	$SbCl^5, S^5$	[illegible]
Argent.	Ag	[illegible]
Oxyde d'argent.	AgO.	[illegible]
Chlorure, sulfure, iodure et cyanure d'argent.	AgCl, S, I, Cy.	[illegible]
Azotate d'argent.	AzO^5, AgO	[illegible]
Sulfate —	SO^3, AgO	[illegible]
Arsenic.	As.	[illegible]
Acide arsénieux.	AsO^3	[illegible]
Acide arsénique.	AsO^5	[illegible]
Protochlorure, sulfure d'arsenic.	$AsCl^3, S^3$	
Perchlorure.	$AsCl^5$	
Arsénites.	AsO^3, RO	
Arséniates.	AsO^5, RO	
Azote.	Az.	[illegible]
Protoxyde d'azote.	AzO.	[illegible]
Bioxyde d'azote.	AzO^2	[illegible]
Acide azoteux.	AzO^3	[illegible]
— hypoazotique.	AzO^4	[illegible]
— azotique dans les sels.	AzO^5	[illegible]
— azotique hydraté.	$AzO^5 + HO$	[illegible]
Azotites.	AzO^3, RO	
Azotates.	AzO^5, RO	
Barium.	Ba.	[illegible]
Baryte.	BaO.	[illegible]
Bioxyde de barium.	BaO^2	[illegible]
Chlorure, sulfure.	BaCl, S.	[illegible]
Sulfate de baryte.	SO^3, BaO	[illegible]
Azotate —	AzO^5, BaO	[illegible]
Carbonate —	CO^2, BaO	[illegible]
Chlorate —	$ClO^5, BaO + HO$	[illegible]
Benzoïle.	$C^{14}H^{10}O^2 = Bz$	[illegible]
Hydrure de benzoïle.	BzH.	[illegible]
Chlorure.	BzCl.	[illegible]
Acide benzoïque.	BzO, HO.	[illegible]
Benzamide.	Bz, AzH^2	[illegible]
Bismuth.	Bi.	[illegible]

SUBSTANCES.	FORMULES.	ÉQUIVALENTS.
de de bismuth.	Bi^2O^3.	2960.75
orure, sulfure, iodure de bismuth.	Bi^2Cl^3, S^3, I^3.	
tate de bismuth cristallisé.	$3AzO^4, Bi^2O^3+9HO$.	
re.	B.	136.20
de borique fondu.	BO^3.	436.20
— cristallisé.	BO^3+3HO.	773.70
z fluoborique.	BFl^3.	837.60
rates.	BO^3, RO.	
rome.	Br.	979.02
ide bromique.	BrO^5.	1479.02
— bromhydrique.	BrH.	991.52
omures (Br. remplace O des oxydes).		
admium.	Cd.	696.77
xyde de cadmium.	CdO.	796.77
hlorure, sulfure, iodure de cadmium.	CdCl, S, I.	
ulfate de cadmium.	$SO^3, CdO+4HO$.	1747.93
Calcium.	Ca.	256.02
haux.	CaO.	356.02
haux hydratée.	CaO, HO.	468.52
hlorure de calcium.	CaCl.	798.67
Carbone.	C.	75.00
Oxyde de carbone.	CO.	175.00
Acide carbonique.	CO^2.	275.00
Acide oxalique anhydre.	C^2O^3.	450.00
— desséché.	C^2O^3, HO.	562.50
— cristallisé.	C^2O^3, 2HO.	675.00
Carbonates.	$CO^2, RO+nHO$.	
Oxalates.	$C^2O^3, RO+nHO$.	
Acide mellitique.	C^4O^3.	600.00
— croconique.	C^5O^4.	775.00
Sulfure de carbone.	CS^2.	477.32
Chlorure de carbone.	C^2Cl.	592.65
Bichlorure de carbone.	C^2Cl^2.	1035.30
Iodure de carbone.	C^2I.	1729.50
Protocarbure d'hydrogène.	C^2H^4.	200.00
Méthylène.	C^2H^2.	175.00
Bicarbure d'hydrogène.	C^4H^4.	350.00
— — de l'huile.	C^8H^8.	700.00
Cétène.	$C^{32}H^{32}$.	2800.00
Naphtaline.	$C^{20}H^8$	1600.00
Térébène.	$C^{20}H^{16}$.	1700.00
Cérium.	Ce.	574.69
Oxyde de cérium	CeO.	674.69
Sesquioxyde —	Ce^2O^3.	1449.39
Chlore.	Cl.	442.65
Acide hypochloreux.	ClO.	542.65
— chloreux.	ClO^3.	742.65
— chlorique.	ClO^5.	942.65
— hyperchlorique.	ClO^7.	1142.65
— chlorhydrique.	ClH.	455.15
Chrome.	Cr.	328.00
Oxyde de chrome (Péligot).	CrO.	428.00
Sesquioxyde de chrome.	Cr^2O^3.	956.00
Acide chromique.	CrO^3.	628.00
Chlorure de chrome (Péligot).	CrCl.	770.00

SUBSTANCES.	FORMULES.	ÉQUIVALENTS.
Sesquichlorure de chrome.	Cr^2Cl^3.	1982.46
Chromates.	CrO^3,RO.	
Cobalt.	Co.	368.99
Oxyde de cobalt.	CoO.	468.99
Sesquioxyde de cobalt.	Co^2O^3.	1037.98
Sulfate de cobalt.	$SO^3,CoO+6HO$.	1645.03
Colombium (Tantale).	Ta.	1153.71
Oxyde de colombium.	TaO.	1253.71
Sesquioxyde de colombium.	Ta^2O^3.	2607.43
Cuivre.	Cu.	395.69
Oxyde rouge de cuivre.	Cu^2O.	891.39
Oxyde noir —	CuO.	495.69
Sulfate de cuivre cristallisé.	$SO^3,CuO+5HO$.	1559.35
Chlorure de cuivre.	Cu^2Cl.	1234.65
Bichlorure —	$CuCl$.	839.34
Cyanogène.	$AzC^2{=}Cy$.	325.00
Acide cyanhydrique.	$AzC^2H{=}CyH$.	337.50
Sulfocyanogène.	AzC^2S^2.	727.33
Cyanoferrure d'hydrogène.	$CyFe, 2CyH+HO$.	1451.70
— jaune de potassium.	$CyFe, 2CyK+3HO$.	2631.53
— rouge de potassium.	$Cy^3Fe, 3CyK$.	4093.44
Eau.	HO.	112.50
Eau oxygénée.	HO^2.	212.50
Esprit de bois.	$C^2H^4O^2$.	400.00
Étain.	Sn.	735.29
Oxyde d'étain.	SnO.	835.29
Acide stannique.	SnO^2.	935.29
Chlorure d'étain.	$SnCl$.	1177.94
Bichlorure d'étain.	$SnCl^2$.	1620.59
Éther hydrique.	C^4H^5O.	462.50
— chlorhydrique.	C^4H^5Cl.	805.15
— nitreux.	AzO^3, C^4H^5O.	939.50
— acétique.	$C^8H^8O^4$.	1100.00
— oxalique.	$C^6H^5O^4$.	912.15
— benzoïque.	$C^{18}H^{10}O^4$.	1875.00
— méthylique.	C^2H^3O.	287.50
Fer.	Fe.	339.21
Protoxyde de fer.	FeO.	439.21
Sesquioxyde de fer.	Fe^2O^3.	978.41
Protochlorure de fer.	$FeCl$.	781.85
Sesquichlorure de fer.	Fe^2Cl^3.	1003.18
Sulfate de protoxyde de fer.	$SO^3,FeO+7HO$.	1727.86
Fluor.	Fl.	233.80
Acide fluorhydrique.	FlH.	246.30
Glucinium.	G.	331.26
Glucine.	GO.	431.26
Hydrogène.	H.	12.50
Iode.	I.	1579.50
Acide iodique.	IO^5.	2079.00
Acide iodhydrique.	IH.	1592.00
Iridium.	Ir.	1233.50
Oxyde d'iridium.	IrO.	1333.50
Sesquioxyde —.	Ir^2O^3.	2767.00
Bioxyde —.	IrO^2.	1433.50
Trioxyde —.	IrO^3.	1533.50
Lithium.	L.	80.37
Lithine.	LO.	180.37
Magnésium.	Mg.	158.35

SUBSTANCES.	FORMULES.	ÉQUIVALENTS.
...ésie.	MgO.	258.35
...rure de magnésium.	MgCl.	601.00
...ate de magnésie cristallisé.	$SO^3,MgO+7HO$.	1547.02
...nganèse.	Mn.	345.88
...de de manganèse.	MnO.	445.88
...de rouge de manganèse.	Mn^3O^4.	1437.66
...quioxyde de manganèse.	Mn^2O^3.	991.77
...de manganique.	MnO^3.	645.88
...de hypermanganique.	Mn^2O^7.	1391.77
...rcure.	Hg.	1265.82
...toxyde de mercure.	Hg^2O.	2631.64
...xyde —	HgO.	1365.82
...tochlorure —	Hg^2Cl.	2974.29
...toïodure —	Hg^2I.	4111.14
...chlorure —	HgCl.	1708.47
...iodure —	HgI.	2845.32
...anure —	HgCy.	1590.82
...olybdène.	Mo.	598.52
...xyde de molybdène.	MoO.	698.52
...oxyde de molybdène.	MoO^2.	798.52
...cide molybdique.	MoO^3.	898.52
...ickel.	Ni.	369.67
...xyde de nickel.	NiO.	469.67
...esquioxyde de nickel.	Ni^2O^3.	1039.35
...r.	Au.	1243.01
...xyde d'or.	Au^2O.	2586.02
Acide aurique.	Au^2O^3.	2786.02
Protochlorure d'or.	Au^2Cl.	2928.49
Trichlorure d'or.	Au^2Cl^3.	3813.97
Osmium.	Os.	1244.48
Oxyde d'osmium.	OsO.	1344.48
Sesquioxyde d'osmium.	Os^2O^3.	2788.97
Bioxyde —	OsO^2.	1444.48
Trioxyde —	OsO^3.	1544.48
Palladium.	Pa.	665.90
Oxyde de palladium.	PaO.	765.90
Bioxyde —	PaO^2.	865.90
Phosphore.	P.	392.31
Oxyde de phosphore.	P^2O.	884.62
Acide hypophosphoreux.	PO.	492.31
— phosphoreux.	PO^3.	692.31
— phosphorique.	PO^5.	892.31
Hydrure de phosphore solide.	PH.	404.81
Platine.	Pt.	1233.50
Oxyde de platine.	PtO.	1333.50
Bioxyde de platine.	PtO^2.	1433.50
Bichlorure de platine.	$PtCl^2$.	2118.80
Chlorure double de platine et de potassium.	$PtCl^2KCl$.	3051.36
Plomb.	Pb.	1294.50
Sous-oxyde de plomb.	Pb^2O.	2689.00
Oxyde —	PbO.	1394.50
Oxyde puce —	PbO^2.	1494.50
Minium.	$Pb^3O^4=PbO^2, 2PbO$.	4283.50
Chlorure de plomb.	PbCl.	1737.15
Carbonate de plomb.	CO^2, PbO.	1669.50
Oxalate de plomb.	C^2O^3, PbO.	1844.50
Potassium.	K.	489.92

SUBSTANCES.	FORMULES.	[illegible]
Potasse.	KO.	[illegible]
Potasse hydratée.	$KO+HO$.	[illegible]
Peroxyde de potassium.	KO^3.	[illegible]
Chlorure —	KCl.	[illegible]
Azoture —	AzK^3.	[illegible]
Azotate de potasse.	AzO^5, KO.	[illegible]
Rhodium.	Rd.	[illegible]
Oxyde de rhodium.	RdO.	[illegible]
Sesquioxyde de rhodium.	Rd^2O^3.	[illegible]
Chlorure de rhodium.	$RdCl$.	[illegible]
Sesquichlorure de rhodium.	Rd^2Cl^3.	[illegible]
Sélénium.	Se.	[illegible]
Silicium.	Si.	[illegible]
Acide silicique, quartz.	SiO^3.	[illegible]
Chlorure de silicium.	$SiCl^3$.	[illegible]
Fluorure de silicium.	$SiFl^3$.	[illegible]
Sodium.	Na.	[illegible]
Soude.	NaO.	[illegible]
Chlorure de sodium.	$NaCl$.	[illegible]
Sulfate de soude hydraté.	$SO^3, NaO+10HO$.	1017.65
Soufre.	S.	201.16
Acide hypo-sulfureux.	SO.	301.16
— sulfureux.	SO^2.	401.16
— hypo-sulfurique.	S^2O^5.	902.32
— sulfurique anhydre.	SO^3.	501.16
— sulfurique cristallisable.	$SO^3, 2HO$.	726.16
Strontium.	Sr.	547.28
Strontiane.	SrO.	647.28
Sulfate de strontium.	SrS.	748.44
Tellure.	Te.	801.76
Acide tellureux.	TeO^2.	1001.76
— tellurique.	TeO^3.	1101.76
Thorinium.	Th.	744.90
Oxyde de thorinium.	ThO.	844.90
Titane.	Ti.	303.66
Acide titanique.	TiO^2.	503.66
Chlorure de titane.	$TiCl^2$.	1188.96
Tungstène ou **Wolfram**.	W.	1183.00
Oxyde de tungstène.	WO^2.	1383.00
Acide tungstique.	WO^3.	1483.00
Uranium.	U.	750.00
Urane (protoxyde), Péligot.	UO.	850.00
Peroxyde d'Uranium.	U^2O^3.	1800.00
Vanadium.	V.	856.89
Oxyde de vanadium.	VO.	956.89
Acide vanadeux.	VO^2.	1056.89
— vanadique.	VO^3.	1156.89
Yttrium.	Y.	948.61
Yttria.	YO.	1048.61
Zinc.	Zn.	403.23
Oxyde de zinc.	ZnO.	503.23
Chlorure de zinc.	$ZnCl$.	845.88
Sulfate de zinc anhydre.	SO^3, ZnO.	1004.39
— — hydraté.	$SO^3, ZnO+7HO$.	1792.44
Zirconium.	Zr.	420.12
Zircone.	Zr^2O^3.	1140.25

L'équivalent du soufre étant 201,16, et celui de l'oxygène 100, celui de l'acide sulfurique anhydre SO^3 est $201,16 + 100 \times 3 = 501,16$.
L'équivalent du fer étant 339,20, celui du protoxyde de fer FeO est 439,20.
L'équivalent de l'hydrogène étant 12,50, celui de l'eau HO est 112,50.
Enfin l'équivalent du sulfate de protoxyde de fer $SO^3,FeO + 7HO$ est

$$501,16+439,20+112,50\times7=501,16+439,20+787,50=1727,86.$$

Pour avoir les quantités respectives d'acide sulfurique, de fer et d'eau qui entrent dans un poids donné de sulfate de protoxyde de fer, il suffit de diviser ce poids en quantités proportionnelles aux nombres 501,16, 439,20 et 787,50 (*Int.*, 364).

33. *TABLEAUX des dimensions principales, des poids et des prix des machines-outils le plus généralement employées dans les ateliers de construction et de réparation* (Maison Bouhey, de Paris) (522).

Tours à fileter et charioter. Ces tours ont pour accessoires : une série de 20 engrenages pour fileter, un plateau toc, un grand plateau avec 4 poupées à pompes, un support à chariot pivotant, une lunette à suivre, un cône correspondant et clefs.

LONGUEUR du banc.	HAUTEUR de pointes.	POIDS.	PRIX.	LONGUEUR du banc.	HAUTEUR de pointes.	POIDS.	PRIX.
m	m	k	fr.	m	m	k	fr.
1.20	0.16	»	900	4.00	0.28	1600	2 900
1.80	0.19	»	1 200	5.00	0.33	2400	3 500
2.00	0.20	»	1 500	5.50	0.33	2600	3 700
2.50	0.22	900	1 900	7.00	0.33	3300	4 500
3 00	0.25	1250	2 400	8.00	0.50	8000	9 000

2° *Tours à engrenages montés ou non sur banc en fonte.* Indépendamment de la poupée et du banc, chaque tour possède : une contre-pointe, un plateau toc, un grand plateau avec 4 poupées à pompes, un support pour crocheter, une lunette à coussinets et clefs.

LONGUEUR du banc.	HAUTEUR de pointes.	AVEC BANC		SANS BANC.	
		POIDS.	PRIX.	POIDS.	PRIX.
m	m	k	fr.	k	fr.
2.30	0.20	420	680	150	400
4.00	0.25	»	1 200	260	600
5.00	0.28	1450	1 550	360	700
5.00	0.33	1800	1 900	550	900
5.00	0.40	2800	2 600	860	1.200
7.00	0.50	6000	5 200	1650	2.300

3° *Tours simples montés ou non sur banc en fonte.* Indépendamment de la poupée et du banc, chaque tour à cônes ou à poulies possède : une contre-pointe, un plateau toc, un grand plateau avec 4 poupées, un support pour crocheter et clefs.

LONGUEUR DU BANC.	HAUTEUR DE POINTES.	PRIX AVEC BANC.	PRIX SANS BANC et sans grand plateau.
m	m	fr.	fr.
1.20	0.16	340	135
1.70	0.18	410	170
2.50	0.22	525	195

4° *Supports à chariot.*

LONGUEUR de table.	HAUTEUR.	POIDS.	PRIX.	LONGUEUR de table.	HAUTEUR.	POIDS.	PRIX.
m	m m	k	fr.	m	m m	k	fr
0.28	0.15 à 0.18	»	110	0.65	0.28 à 0.40	120	[illegible]
0.40	0.18 à 0.22	35	175	0.70	0.35 à 0.50	320	550
0.50	0.25 à 0.28	90	235	1.00	0.28 à 0.40	240	400
0.50	0.35 à 0.50	220	400	1.50	0.55	»	750

5° *Machines à raboter à table mobile avec mordache à 2 vis, marchant à la main.*

DIMENSIONS A RABOTER.			POIDS.	PRIX.
longueur.	largeur.	hauteur.		
m	m	m	k	fr.
0.70	0.35	0.20	580	650
1.00	0.45	0.40	900	1 000

6° *Machines à raboter à table mobile, retour à double vitesse avec mordache à deux vis.*

DIMENSIONS A RABOTER.			POIDS.	PRIX.
longueur.	largeur.	hauteur.		
m	m	m	k	fr.
0.75	0.35	0.20	400	950
1.00	0.45	0.40	1000	1700
1.50	0.55	0.50	1550	2400
2.00	0.80	0.60	2300	3400
3.00	0.80	0.80	4300	5000
5.00	1.00	1.00	8000	9500

7° *Limeuses* (ou machines à raboter transversales) *avec cône correspondant et clefs.*

COURSE DE L'OUTIL.	POIDS.	PRIX.	OBSERVATIONS.
m	k	fr.	
0.10	340	800	Sans engrenages.
0.18	900	1600	Avec engrenages et dispositions pour pièces circulaires.
0.25	1300	2200	

8° *Machines à mortaiser, avec cône correspondant et clefs.*

COURSE DE L'OUTIL.	DISTANCE DE L'OUTIL au bâti.	DIAMÈTRE du plateau.	POIDS.	PRIX.
m	m	m	k	fr.
0.10	0.30	0.40	»	1500
0.18	0.50	0.60	2000	3000
0.30	1.00	1.20	5000	6500

9° *Machines à aléser horizontales.*

OBSERVATIONS.	LONGUEUR à aléser.	DIAMÈTRE à aléser.	LONGUEUR du banc.	LARGEUR du banc.	PRIX.
	m	m m	m	m	fr.
Avec trois barres. . . .	1.00	0.04 à 0 30	2.75	0.40	2000
— une barre.	2.00	0.30 à 1.25	3.25	1.30	5000
— trois barres. . . .	2.00	0.05 à 0.80	5.50	1.00	5200

Machines à cintrer les tôles. Le cylindre du haut est en fer et se retire horizontalement pour dégager les pièces cintrées.

LONGUEUR de la table des cylindres.	DIAMÈTRE du cylindre en fer.	DIAMÈTRE. des cylindres en fonte.	POIDS.	PRIX.
m	m	m	k	fr.
2.50	0.20	0.30	4600	4300
3.00	0.21	0.32	6200	5800

11° *Machines à percer*, à cône et à poulie.

OBSERVATIONS.	DISTANCE du foret au bâti.	COURSE du porte-foret.	DIAMÈTRE à percer.	POIDS.	PRIX.
	m m	m	m	k	fr.
Avec mordache ordinaire.	0.22	0.11	0.018	90	150
Id. *id.*	0.25	0.14	0.028	175	250
Sans mordache (murale).	»	0.20	0.032	»	300
Avec mordache ordinaire.	0.26	0.23	0 040	230	340
A double cône, plateau mobile et mordache.	0.35	0.15	0.038	350	450
A colonne, plateau mobile en tous sens, descente variable du foret réglée par la machine.	0.40	0.18	0.038	»	950
Avec mordache et descente variable du foret réglée par la machine.	0.70	0.24	0.060	610	825
A doubles cônes, plateau mobile et descente variable du foret réglée par la machine. . .	0.45	0.28	0.050	»	950
Sans plateau, avec descente variable du foret réglée par la machine.	0.70	0.24	0.060	»	1.000
A colonne, plateau mobile en tous sens, descente variable du foret réglée par la machine.	0.50	0.24	0.060	800	1.400
Radiale	0.55 à 1.50	»	0.060	2200	3.000

12° *Cisailles pour la tôle.*

OBSERVATIONS.	ÉPAISSEUR à cisailler.	LONGUEUR des lames.	DISTANCE des lames au bâti.	POIDS.	PRIX.
	m	m	m	k	fr.
A excentrique et poulies.	0.008	0.20	0.40	1200	1350
Id. *Id.*	0.012	0.30	0.50	4000	3600
Id. *Id.*	0.015	0.40	0.60	6000	5500
Id. *Id.*	0.015	0.50	1.00	12000	10000
		diamètre des lames.			
A lame circulaires en plusieurs secteurs	0.002	0.18	0.30	»	550
Id. *Id.*	0.005	0.25	0.60	»	1500
Id. *Id.*	0.010	0.50	0.70	»	4500

13° *Machines à poinçonner.*

OBSERVATIONS.	DIAMÈTRE à percer.	POUR UNE épaisseur de	DISTANCE du poinçon au bâti.	POIDS.	PRIX.
	m	m	m	k	fr.
A double effet (poinçon et cisaille) excentrique et manivelle	0.010	0.010	0.25	550	[illegible]
Id. *Id.* *Id.*	0.015	0.015	0.35	»	[illegible]
A levier, came, poulies et manivelles.	0.015	0.015	0.30	»	[illegible]
Id. *Id.* *Id.*	0.020	0.020	0.40	[illegible]	[illegible]
Id. *Id.* *Id.*	0.024	0.024	0.45	3900	[illegible]
Disposée pour rails, éclisses, deux trous à la fois.	»	»	»	6300	[illegible]
A excentrique, poulies et manivelles.	0.010	0.005	0.30	550	[illegible]
Id. *Id.* Id.	0.010	0.010	0.40	650	[illegible]
A excentrique et poulies	0.015	0.015	0.50	1200	[illegible]
Id. *Id.*	0.020	0.020	0.60	3500	[illegible]
Id. *Id.*	0.025	0.025	0.60	4600	[illegible]
Id. *Id.*	0.030	0.030	1.00	12000	[illegible]

14° *Machines à tarauder.*

DIAMÈTRE A TARAUDER.	POIDS.	PRIX.
m	k	fr.
0.028	325	600
0.045	500	900

VENTILATEURS

Arbre en acier fondu, collets trempés, coussinets en fonte trempés.

DIAMÈTRE intérieur.	POIDS.	PRIX.	DIAMÈTRE intérieur.	POIDS.	PRIX.
m	k	fr.	m	k	fr.
0.30	75	150	0.60	280	[illegible]
0.40	»	200	0.80	560	[illegible]
0.50	180	300	1.00	»	[illegible]

TABLEAU du prix des principales machines employées dans les filatures et papeteries.

1° *Filature de coton.*

r double.	suivant la construction,	2000	à	4000	fr.
avec garniture.	*id.*	1150		1250	
e avec molettes.	la tête,	250		300	
e ordinaire.	la tête,	200		225	
sseur.	l'un,	500		700	
broches en gros à compression.	la broche,	60		70	
'd. intermédiaire.	*id.*	40		45	
Id. en fin.	*id.*	35		40	
frotteur (employé en Normandie).	l'un,	1100		1200	
jenny de 300 à 400 broches.	la broche,	7		8	
à filer continu.	la broche,	12		14	
r renvideur.	la broche,	11		12	

2° *Filature de laine peignée.*

itreur réunisseur à 6 peignes, 2 étirages.		1500	à	1600	fr.
Id. 8 *id.* *id.*		1700		1800	
Id. 8 *id.* *id.* et 2 cannelles.		2100		2200	
noir 8 *id.* sans frotteurs et 2 grosses cannelles,		1700		1800	
Id. 12 *id.* *id.* 3 cannelles.		2100		2200	
Id. 4 *id.* à frotteurs et 4 *id.*		1500		1600	
Id. 10 *id.* *id.* 10 *id.*		1850		1950	
Id. 20 *id.* *id.* 20 *id.*		2600		2750	
Id. 30 *id.* *id.* 30 *id.*		3350		3500	

u-dessus de 30 peignes, les bobinoirs peuvent se compter 1000 fr. tête et 80 fr. par peigne.

ll-jenny.	la broche,	9	11

a pratique prouve qu'une filature de laine peignée revient à 45 ou fr. la broche, compris le terrain, les bâtiments le moteur et le maiel.

3° *Filature de laine cardée.*

up pour ouvrir la laine.		500	à	1000	fr.
rde drousse et carde repasseuse (avec garniture),	l'une,	2100		2400	
irde fileuse à frotteur et à 2 peigneurs.		3000		3300	
ull-jenny de 200 broches.	la broche,	8		10	

4° *Filature de lin et d'étoupe.*

oupeuse.		500	600	fr.
eigneuse.		5000	6000	
'able à étaler à 2 têtes de 4 rubans.		2000	2200	
Étirage à 2 têtes de 4 rubans.		2000	2200	
Étirage à 3 têtes de 4 rubans.		2600	3000	
Banc à broches de 50 à 60 broches.	la broche,	115	125	
Métier à filer à sec de 200 broches.	la broche,	30	33	
Id. au mouillé.	la broche,	20	25	
Grande carde de 2^{m} sur 1^{m},65.		7000	10000	
Carde briseuse de 1^{m},30 sur 1^{m},25.		3000	3500	

Papeterie.

Machine à papier complète.	28000	à	32000	fr.
Pile avec cylindre et platine.	2200		2500	
Coupeuse à chiffon.	1200		2000	
Lessiveur mécanique.	4000		5000	
Machine à couper le papier.	2000		4000	
Lisse.	1200		1500	

63. ***Table des circonférences et des surfaces des cercles ayant pour diamètre [illegible] de la première colonne, et des carrés, cubes, racines carrées et racines [illegible] ces nombres.***

Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
1	3.14	0.78	1	1	1.000	1.000
2	6.28	3.14	4	8	1.414	1.259
3	9.42	7.07	9	27	1.732	1.442
4	12.57	12.57	16	64	2.000	1.587
5	15.71	19.63	25	125	2.236	1.709
6	18.85	28.27	36	216	2.449	1.817
7	21.99	38.48	49	343	2.645	1.912
8	25.13	50.26	64	512	2.828	2.000
9	28.27	63.61	81	729	3.000	2.080
10	31.41	78.54	100	1000	3.162	2.154
11	34.55	95.03	121	1331	3.316	2.223
12	37.69	113.09	144	1728	3.464	2.289
13	40.84	132.73	169	2197	3.605	2.351
14	43.98	153.93	196	2744	3.741	2.410
15	47.12	176.71	225	3375	3.872	2.466
16	50.26	201.06	256	4096	4.000	2.519
17	53.40	226.98	289	4913	4.123	2.571
18	56.54	254.46	324	5832	4.242	2.620
19	59.69	283.52	361	6859	4.358	2.668
20	62.83	314.15	400	8000	4.472	2.714
21	65.97	346.36	441	9261	4.582	2.758
22	69.11	380.13	484	10648	4.690	2.802
23	72.25	415.47	529	12167	4.795	2.843
24	75.39	452.38	576	13824	4.898	2.884
25	78.54	490.87	625	15625	5.000	2.924
26	81.68	530.93	676	17576	5.099	2.962
27	84.82	572.55	729	19683	5.196	3.000
28	87.96	615.75	784	21952	5.291	3.036
29	91.10	660.52	841	24389	5.385	3.072
30	94.24	706.85	900	27000	5.477	3.107
31	97.38	754.76	961	29791	5.567	3.141
32	100.53	804.24	1024	32768	5.656	3.174
33	103.67	855.29	1089	35937	5.744	3.207
34	106.81	907.92	1156	39304	5.830	3.230
35	109.95	962.11	1225	42875	5.916	3.271
36	113.09	1017.87	1296	46656	6.000	3.301
37	116.23	1075.21	1369	50653	6.082	3.332
38	119.38	1134.11	1444	54872	6.164	3.361
39	122.52	1194.59	1521	59319	6.244	3.391
40	125.66	1256.63	1600	64000	6.324	3.419
41	128.80	1320.25	1681	68921	6.403	3.448
42	131.94	1385.44	1764	74088	6.480	3.476
43	135.08	1452.20	1849	79507	6.557	3.505
44	138.23	1520.52	1936	85184	6.633	3.530
45	141.37	1590.43	2025	91125	6.708	3.556
46	144.51	1661.90	2116	97336	6.782	3.583
47	147.65	1734.94	2209	103823	6.855	3.608
48	150.79	1809.55	2304	110592	6.928	3.634
49	153.93	1885.74	2401	117649	7.000	3.659
50	157.08	1963.49	2500	125000	7.071	3.684
51	160.22	2042.82	2601	132651	7.141	3.708
52	163.36	2123.71	2704	140608	7.211	3.732
53	166.50	2206.18	2809	148877	7.280	3.756
54	169.64	2290.21	2916	157464	7.348	3.779
55	172.78	2375.82	3025	166375	7.416	3.802
56	175.92	2463.01	3136	175616	7.483	3.825
57	179.07	2551.75	3249	185193	7.549	3.848
58	182.21	2642.08	3364	195112	7.615	3.870
59	185.35	2733.97	3481	205379	7.681	3.892
60	188.49	2827.43	3600	216000	7.745	3.914

Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
61	191.63	2922.46	3721	[illegible]	[illegible]	[illegible]
62	194.77	3019.07	3844	[illegible]	[illegible]	[illegible]
63	197.92	3117.24	3969	[illegible]	[illegible]	[illegible]
64	201.06	3216.99	4096	[illegible]	[illegible]	[illegible]
65	204.20	3318.30	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
66	207.34	3421.18	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
67	210.48	3525.65	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
68	213.62	3631.68	4624	[illegible]	[illegible]	[illegible]
69	216.77	3739.25	4761	[illegible]	[illegible]	[illegible]
70	219.91	3848.45	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
71	223.05	3959.19	5041	[illegible]	[illegible]	[illegible]
72	226.19	4071.50	5184	[illegible]	[illegible]	[illegible]
73	229.33	4185.38	5329	[illegible]	[illegible]	[illegible]
74	232.47	4300.84	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
75	235.61	4417.86	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
76	238.76	4536.45	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
77	241.90	4655.62	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
78	245.04	4778.36	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
79	248.18	4901.66	6241	[illegible]	[illegible]	[illegible]
80	251.32	5026.54	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
81	254.46	5153.00	6561	[illegible]	[illegible]	[illegible]
82	257.61	5281.01	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
83	260.75	5410.59	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
84	263.89	5541.77	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
85	267.03	5674.50	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
86	270.17	5808.80	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
87	273.31	5944.67	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
88	276.46	6082.11	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
89	279.60	6221.13	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
90	282.74	6361.72	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
91	285.88	6503.87	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
92	289.02	6647.61	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
93	292.16	6792.90	8649	[illegible]	[illegible]	[illegible]
94	295.31	6939.78	8836	[illegible]	[illegible]	[illegible]
95	298.45	7088.21	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
96	301.59	7238.23	9216	[illegible]	[illegible]	[illegible]
97	304.73	7389.81	9409	[illegible]	[illegible]	[illegible]
98	307.87	7542.96	9604	[illegible]	[illegible]	[illegible]
99	311.01	7697.68	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
100	314.15	7853.97	10000	[illegible]	[illegible]	[illegible]
101	317.30	9011.86	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
102	320.44	8171.30	10404	[illegible]	[illegible]	[illegible]
103	323.58	8332.30	10609	[illegible]	[illegible]	[illegible]
104	326.72	8494.88	10816	[illegible]	[illegible]	[illegible]
105	329.86	8659.03	11025	[illegible]	[illegible]	[illegible]
106	333.00	8824.73	11236	[illegible]	[illegible]	[illegible]
107	336.15	8992.04	11449	[illegible]	[illegible]	[illegible]
108	339.29	9160.90	11664	[illegible]	[illegible]	[illegible]
109	342.43	9331.33	11881	[illegible]	[illegible]	[illegible]
110	345.57	9503.34	12100	[illegible]	[illegible]	[illegible]
111	348.71	9676.91	12321	[illegible]	[illegible]	[illegible]
112	351.85	9852.03	12544	[illegible]	[illegible]	[illegible]
113	355.01	10028.77	12769	[illegible]	[illegible]	[illegible]
114	358.14	10207.05	12996	[illegible]	[illegible]	[illegible]
115	361.28	10386.91	13225	[illegible]	[illegible]	[illegible]
116	364.42	10568.34	13456	[illegible]	[illegible]	[illegible]
117	367.56	10751.34	13689	[illegible]	[illegible]	[illegible]
118	370.70	10935.90	13924	[illegible]	[illegible]	[illegible]
119	373.85	11122.04	14161	[illegible]	[illegible]	[illegible]
120	376.99	11309.76	14400	1728000	[illegible]	[illegible]

n-ce.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
.13	11499	14641	1771561	11.000	4.946
.27	11689	14884	1815848	11.045	4.959
.41	11882	15129	1860867	11.090	4.973
.55	12076	15376	1906624	11.135	4.986
.70	12271	15625	1953125	11.180	5.000
5.84	12469	15876	2000376	11.224	5.013
3.98	12667	16129	2048383	11.269	5.026
2.12	12867	16384	2097152	11.313	5.039
5.26	13069	16641	2146689	11.357	5.052
8.41	13273	16900	2197000	11.401	5.065
1.54	13478	17161	2248091	11.445	5.078
4.69	13684	17424	2299968	11.489	5.091
7.83	13892	17689	2352637	11.532	5.104
0.97	14102	17956	2406104	11.575	5.117
4.11	14313	18225	2460375	11.618	5.129
7.25	14526	18496	2515456	11.661	5.142
0.39	14741	18769	2571353	11.704	5.155
3.54	14957	19044	2628072	11.747	5.167
6.68	15174	19321	2685619	11.789	5.180
9.82	15393	19600	2744000	11.832	5.192
2.96	15614	19881	2803221	11.874	5.204
46.10	15836	20164	2863288	11.916	5.217
9.24	16060	20449	2924207	11.958	5.229
52.39	16286	20736	2985984	12.000	5.241
55.53	16513	21025	3048625	12.041	5.253
58.67	16741	21316	3112136	12.083	5.265
61.81	16971	21609	3176523	12.124	5.277
64.95	17203	21904	3241792	12.165	5.289
68.09	17436	22201	3307949	12.206	5.301
71.24	17671	22500	3375000	12.247	5.313
474.38	17907	22801	3442951	12.288	5.325
477.52	18145	23104	3511808	12.328	5.336
480.66	18385	23409	3581577	12.369	5.348
483.80	18626	23716	3652264	12.409	5.360
486.94	18869	24025	3723875	12.449	5.371
490.08	19113	24336	3796416	12.489	5.383
493.23	19359	24649	3869893	12.529	5.394
496.37	19606	24964	3944312	12.569	5.406
499.51	19855	25281	4019679	12.609	5.417
502.65	20106	25600	4096000	12.649	5.428
505.79	20358	25921	4173281	12.688	5.440
508.93	20612	26244	4251528	12.727	5.451
512.08	20867	26569	4330747	12.767	5.462
515.22	21124	26896	4410944	12.806	5.473
518.36	21382	27225	4492125	12.845	5.484
521.50	21642	27556	4574296	12.884	5.495
524.64	21904	27889	4657463	12.922	5.506
527.78	22167	28224	4741632	12.961	5.517
530.93	22431	28561	4826809	13.000	5.528
534.07	22698	28900	4913000	13.038	5.539
537.31	22965	29241	5000211	13.076	5.550
540.35	23235	29584	5088448	13.114	5.561
543.49	23506	29929	5177717	13.152	5.572
546.64	23778	30276	5268024	13.190	5.582
549.78	24052	30625	5359375	13.228	5.593
552.92	24328	30976	5451776	13.266	5.604
556.06	24605	31329	5545233	13.304	5.614
559.20	24884	31684	5639752	13.341	5.625
562.34	25165	32041	5735339	13.379	5.635
565.48	25446	32400	5832000	13.416	5.646
568.62	25730	32761	5929741	13.453	5.656
571.77	26015	33124	6028568	13.490	5.667
574.91	26302	33489	6128487	13.527	5.677
578.05	26590	33856	6229504	13.564	5.687
581.19	26880	34225	6331225	13.601	5.698

Nombres	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
186	584.33	27171	34596	6434856	13.638	5.708
187	587.47	27464	34969	6539203	13.674	5.718
188	590.62	27759	35344	6644672	13.711	5.728
189	593.76	28055	35721	6751269	13.747	5.738
190	596.90	28352	36100	6859000	13.784	5.748
191	600.04	28652	36481	6967871	13.820	5.758
192	603.18	28952	36864	7077888	13.856	5.768
193	606.32	29255	37249	7189057	13.892	5.778
194	609.47	29559	37636	7301384	13.928	5.788
195	612.61	29864	38025	7414875	13.964	5.798
196	615.75	30171	38416	7529536	14.000	5.808
197	618.89	30480	38809	7645373	14.035	5.818
198	622.03	30790	39204	7702392	14.071	5.828
199	625.17	31102	39601	7880599	14.106	5.838
200	628.32	31416	40000	8000000	14.142	5.848
201	631.46	31730	40401	8120601	14.177	5.857
202	634.60	32047	40804	8242408	14.212	5.867
203	637.74	32365	41209	8365427	14.247	5.877
204	640.88	32685	41616	8489664	14.282	5.886
205	644.02	33006	42025	8615125	14.317	5.896
206	647.16	33329	42436	8741816	14.352	5.905
207	650.31	33653	42849	8869743	14.387	5.915
208	653.45	33979	43264	8998912	14.422	5.924
209	656.59	34307	43681	9129329	14.456	5.934
210	659.73	34636	44100	9261000	14.491	5.943
211	662.87	34966	44521	9393931	14.525	5.953
212	666.01	35299	44944	9528128	14.560	5.962
213	669.16	35632	45369	9663597	14.594	5.972
214	672.30	35968	45796	9800344	14.628	5.981
215	675.44	36305	46225	9938375	14.662	5.990
216	678.58	36643	46656	10077696	14.696	6.000
217	681.72	36983	47089	10218313	14.730	6.009
218	684.86	37325	47524	10360232	14.764	6.018
219	688.01	37668	47961	10503459	14.798	6.027
220	691.15	38013	48400	10648000	14.832	6.036
221	694.29	38359	48841	10793861	14.866	6.045
222	697.43	38707	49284	10941048	14.899	6 055
223	700.57	39057	49729	11089567	14.933	6.064
224	703.71	39408	50176	11239424	14.966	6.073
225	706.86	39760	50625	11390625	15.000	6.082
226	710.00	40115	51076	11543176	15.033	6.091
227	713.14	40470	51529	11697083	15.066	6.100
228	716.28	40828	51984	11852352	15.099	6.109
229	719.42	41187	52441	12008989	15.132	6.118
230	722.56	41547	52900	12167000	15.165	6.126
231	725.70	41909	53361	12326391	15.198	6.135
232	728.85	42273	53824	12487168	15.231	6.144
233	731.99	42638	54289	12649337	15.264	6.153
234	735.13	43005	54756	12812904	15.297	6.162
235	738.27	43373	55225	12977875	15.329	6.171
236	741.41	43743	55696	13144256	15.362	6.179
237	744.55	44115	56169	13312053	15.394	6.188
238	747.70	44488	56644	13481272	15.427	6.197
239	750.84	44862	57121	13651919	15.459	6.205
240	753.98	45239	57600	13824000	15.491	6.214
241	757.12	45616	58081	13997521	15.524	6.223
242	760.26	45996	58564	14172488	15.556	6.231
243	763.40	46377	59049	14348907	15.588	6.240
244	766.55	46759	59536	14526784	15.620	6.248
245	769.69	47143	60025	14706125	15.652	6.257
246	772.83	47529	60516	14886936	15.684	6.265
247	775.97	47916	61009	15069223	15.716	6.274
248	779.11	48305	61504	15252992	15.748	6.282
249	782.25	48695	62001	15438249	15.779	6.291
250	785.40	49087	62500	15625000	15.811	6.299

Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
251	788.54	49481	63001	15813251	15.842	6.307
252	791.68	49876	63504	16003008	15.874	6.316
253	794.82	50272	64009	16194277	15.905	6.324
254	797.96	50670	64516	16387064	15.937	6.333
255	801.10	51070	65025	16581375	15.968	6.341
256	804.24	51471	65536	16777216	16.000	6.349
257	807.39	51874	66049	16974593	16.031	6.357
258	810.53	52279	66564	17173512	16.062	6.366
259	813.67	52685	67081	17373979	16.093	6.374
260	816.81	53093	67600	17576000	16.124	6.382
261	819.97	53502	68121	17779581	16.155	6.390
262	823.09	53912	68644	17984728	16.186	6.398
263	826.24	54325	69169	18191447	16.217	6.406
264	829.38	54739	69696	18399744	16.248	6.415
265	832.52	55154	70225	18609625	16.278	6.423
266	835.66	55571	70756	18821096	16.309	6.431
267	838.80	55990	71289	19034163	16.340	6.439
268	841 94	56410	71824	19248832	16.370	6.447
269	845.09	56832	72361	19465109	16.401	6.455
270	848.23	57255	72900	19683000	16.431	6.463
271	851.37	57680	73441	19902511	16.462	6.471
272	854.51	58107	73984	20123648	16.492	6.479
273	857.65	58535	74529	20346417	16.522	6.487
274	860.79	58964	75076	20570824	16.552	6.495
275	863.94	59395	75625	·20796875	16.583	6.502
276	867.08	59828	76176	21024576	16.613	6.510
277	870.22	60262	76729	21253933	16.643	6.518
278	873.36	60698	77284	21484952	16.673	6.526
279	876.50	61136	77841	21717639	16.703	6.534
280	879.64	61575	78400	21952000	16.733	6.542
281	882.78	62015	78961	22188041	16.763	6.549
282	885.93	62458	79524	22425768	16.792	6.557
283	889.07	62901	80089	22665187	16 822	6.565
284	892.21	63347	80656	22906304	16.852	6.573
285	895.35	63794	81225	23149125	16.881	6.580
286	898.49	64242	81796	23393656	16.911	6.588
287	901.63	64692	82369	23639903	16.941	6.596
288	904.78	65144	82944	23887872	16.970	6.603
289	907 92	65597	83521	24137569	17.000	6.611
290	911.06	66052	84100	24389000	17.029	6.619
291	914.20	66508	84681	24642171	17.059	6.627
292	917.34	66966	85264	24897088	17.088	6.634
293	920.48	67425	85849	25153757	17.117	6.642
294	923.63	67886	86436	25412184	17.146	6.649
295	926.77	68349	87025	25672375	17.176	6.657
296	929.91	68813	87616	25934336	17.205	6.664
297	933.05	69279	88209	26198073	17.234	6.672
298	936.19	69746	88804	26463592	17.263	6.679
299	939.33	70215	89401	26730899	17.292	6.687
300	942.48	70686	90000	27000000	17.320	6.694
301	945.62	71158	90601	27270901	17.349	6.702
302	948.76	71631	91204	27543608	17.378	6.709
303	951.90	72106	91809	27818127	17.407	6.717
304	955.04	72583	92416	28094464	17.436	6.724
305	958.18	73061	93025	28372625	17.464	6.731
306	961.32	73541	93636	28652616	17.493	6.739
307	964.47	74023	94249	28934443	17.521	6.746
308	967.61	74506	94864	29218112	17.549	6.753
309	970.75	74990	95481	29503629	17.578	6.761
310	973.89	75476	96100	29791000	17.607	6.768
311	977.03	75964	96721	30080231	17.635	6.775
312	980.17	76453	97344	30371328	17.663	6.782
313	983.32	76944	97969	30664297	17.692	6.789
314	986.45	77437	98596	30959144	17.720	6.797
315	989.60	77931	99225	31255875	17.748	6.804

Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.
316	992.74	78426	99856	31554496	[illegible]
317	995.88	78924	100489	[illegible]	[illegible]
318	999.02	79422	101124	[illegible]	[illegible]
319	1002.17	79923	101761	[illegible]	[illegible]
320	1005.31	80424	102400	[illegible]	[illegible]
321	1008.45	80928	103041	[illegible]	[illegible]
322	1011.59	81433	103684	[illegible]	[illegible]
323	1014.73	81939	104329	[illegible]	[illegible]
324	1017.88	82448	104976	[illegible]	[illegible]
325	1021.02	82957	105625	[illegible]	[illegible]
326	1024.16	83469	106276	[illegible]	[illegible]
327	1027.30	83982	106929	[illegible]	[illegible]
328	1030.44	84496	107584	[illegible]	[illegible]
329	1033.58	85012	108241	[illegible]	[illegible]
330	1036.72	85530	108900	[illegible]	[illegible]
331	1039.86	86049	109561	[illegible]	[illegible]
332	1043.01	86569	110224	[illegible]	[illegible]
333	1046.15	87092	110889	[illegible]	[illegible]
334	1049.29	87616	111556	[illegible]	[illegible]
335	1052.43	88141	112225	[illegible]	[illegible]
336	1055.57	88668	112896	[illegible]	[illegible]
337	1058.71	89197	113569	[illegible]	[illegible]
338	1061.86	89727	114244	[illegible]	[illegible]
339	1065.00	90258	114921	[illegible]	[illegible]
340	1068.14	90792	115600	[illegible]	[illegible]
341	1071.28	91327	116281	[illegible]	[illegible]
342	1074.42	91863	116964	[illegible]	[illegible]
343	1077.56	92401	117649	[illegible]	[illegible]
344	1080.71	92941	118336	[illegible]	[illegible]
345	1083.85	93482	119025	[illegible]	[illegible]
346	1086.99	94024	119716	[illegible]	[illegible]
347	1090.13	94569	120409	[illegible]	[illegible]
348	1093.27	95115	121104	[illegible]	[illegible]
349	1096.41	95662	121801	[illegible]	[illegible]
350	1099.56	96211	122500	[illegible]	[illegible]
351	1102.70	96762	123201	[illegible]	[illegible]
352	1105.84	97314	123904	[illegible]	[illegible]
353	1108.98	97867	124609	[illegible]	[illegible]
354	1112.12	98423	125316	[illegible]	[illegible]
355	1115.26	98980	126025	[illegible]	[illegible]
356	1118.40	99538	126736	[illegible]	[illegible]
357	1121.55	100098	127449	[illegible]	[illegible]
358	1124.69	100660	128164	[illegible]	[illegible]
359	1127.83	101223	128881	[illegible]	[illegible]
360	1130.97	101787	129600	[illegible]	[illegible]
361	1134.11	102354	130321	[illegible]	[illegible]
362	1137.25	102921	131044	[illegible]	[illegible]
363	1140.40	103491	131769	[illegible]	[illegible]
364	1143.54	104062	132496	[illegible]	[illegible]
365	1146.68	104634	133225	[illegible]	[illegible]
366	1149.82	105209	133956	[illegible]	[illegible]
367	1152.96	105784	134689	49430863	[illegible]
368	1156.10	106362	135424	[illegible]	[illegible]
369	1159.25	106940	136161	50243409	[illegible]
370	1162.39	107521	136900	50653000	[illegible]
371	1165.53	108103	137641	51064811	[illegible]
372	1168.67	108686	138384	[illegible]	[illegible]
373	1171.81	109271	139129	51895117	[illegible]
374	1174.95	109858	139876	52313624	[illegible]
375	1178.10	110446	140625	52734375	[illegible]
376	1181.24	111036	141376	53157376	[illegible]
377	1184.38	111628	142129	53582633	[illegible]
378	1187.52	112221	142884	54010152	[illegible]
379	1190.66	112815	143641	54439939	[illegible]
380	1193.80	113411	144400	54872000	[illegible]

Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
381	1196.94	114009	145161	55306341	19.519	7.249
382	1200.09	114608	145924	55742968	19.545	7.256
383	1203.23	115209	146689	56181887	19.570	7.262
384	1206.37	115811	147456	56623104	19.596	7.268
385	1209.51	116415	148225	57066625	19.621	7.275
386	1212.65	117021	148996	57512456	19.647	7.281
387	1215.79	117628	149769	57960603	19.672	7.287
388	1218.94	118237	150544	58411072	19.698	7.294
389	1222.08	118847	151321	58863869	19.723	7.299
390	1225.22	119459	152100	59319000	19.748	7.306
391	1228.36	120072	152881	59776471	19.774	7.312
392	1231.50	120687	153664	60236288	19.799	7.319
393	1234.64	121304	154449	60698457	19.824	7.325
394	1237.79	121922	155236	61162984	19.849	7.331
395	1240.93	122542	156025	61629875	19.875	7.337
396	1244.07	123163	156816	62099136	19.899	7.343
397	1247.21	123786	157609	62570773	19.925	7.349
398	1250.35	124410	158404	63044792	19.949	7.356
399	1253.49	125036	159201	63521199	19.975	7.362
400	1256.64	125664	160000	64000000	20.000	7.368
401	1259.78	126295	160801	64481201	20.025	7.374
402	1262.92	126925	161604	64964808	20.049	7.380
403	1266.06	127556	162409	65450827	20.075	7.386
404	1269.20	128189	163216	65939264	20.099	7.392
405	1272.34	128825	164025	66430125	20.125	7.399
406	1275.48	129462	164836	66923416	20.149	7.405
407	1278.63	130100	165649	67419143	20.174	7.411
408	1281.77	130740	166464	67911312	20.199	7.417
409	1284.91	131382	167281	68417929	20.224	7.422
410	1288.05	132025	168100	68921000	20.248	7.429
411	1291.19	132670	168921	69426531	20.273	7.434
412	1294.34	133316	169744	69934528	20.298	7.441
413	1297.48	133964	170569	70444997	20.322	7.447
414	1300.62	134614	171396	70957944	20.347	7.453
415	1303.76	135265	172225	71473375	20.371	7.459
416	1306.90	135918	173056	71991296	20.396	7.465
417	1310.04	136572	173889	72511713	20.421	7.471
418	1313.18	137228	174724	73034632	20.445	7.477
419	1316.32	137885	175561	73560059	20.469	7.483
420	1319.47	138544	176400	74088000	20.494	7.489
421	1322.61	139205	177241	74618461	20.518	7.495
422	1325.75	139867	178084	75151448	20.543	7.501
423	1328.89	140530	178929	75686967	20.567	7.507
424	1332.03	141196	179776	76225024	20.591	7.513
425	1335.18	141862	180625	76765625	20.615	7.518
426	1338.32	142531	181476	77308776	20.639	7.524
427	1341.46	143201	182329	77854483	20.664	7.530
428	1344.60	143872	183184	78402752	20.688	7.536
429	1347.74	144545	184041	78953589	20.712	7.542
430	1350.88	145220	184900	79507000	20.736	7.548
431	1354.02	145896	185761	80062991	20.760	7.554
432	1357.17	146574	186624	80621568	20.785	7.559
433	1360.32	147253	187489	81182737	20.809	7.565
434	1363.45	147934	188356	81746504	20.833	7.571
435	1366.59	148617	189225	82312875	20.857	7.577
436	1369.73	149301	190096	82881856	20.881	7.583
437	1372.87	149987	190969	83453453	20.904	7.588
438	1376.02	150674	191844	84027672	20.928	7.594
439	1379.16	151362	192721	84604519	20.952	7.600
440	1382.30	152053	193600	85184000	20.976	7.606
441	1385.44	152745	194481	85766121	21.000	7.612
442	1388.58	153438	195364	86350888	21.024	7.617
443	1391.72	154133	196249	86938307	21.047	7.623
444	1394.87	154830	197136	87528384	21.071	7.629
445	1398.01	155528	198025	88121125	21.095	7.635

Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
446	1401.15	156228	198916	88716536	21.119	7.640
447	1404.29	156929	199809	89314623	21.142	7.646
448	1407.43	157632	200704	89915392	21.166	7.652
449	1410.57	158337	201601	90518849	21.189	7.657
450	1413.72	159043	202500	91125000	21.213	7.663
451	1416.86	159751	203401	91733851	21.237	7.669
452	1420.00	160460	204304	92345408	21.260	7.674
453	1423.14	161171	205209	92959677	21.284	7.680
454	1426.28	161883	206106	93576664	21.307	7.686
455	1429.42	162597	207025	94196375	21.331	7.691
456	1432.56	163312	207936	94818816	21.354	7.697
457	1435.71	164030	208849	95443993	21.377	7.703
458	1438.85	164748	209764	96071912	21.401	7.708
459	1441.99	165468	210681	96702579	21.424	7.714
460	1445.13	166190	211600	97336000	21.447	7.719
461	1448.27	166913	212521	97972181	21.471	7.725
462	1451.41	167638	213444	98611128	21.494	7.731
463	1454.56	168365	214369	99252847	21.517	7.736
464	1457.70	169093	215296	99897344	21.541	7.742
465	1460.84	169823	216225	100544625	21.564	7.747
466	1463.98	170554	217156	101194696	21.587	7.753
467	1467.12	171287	218089	101847563	21.610	7.758
468	1470.26	172021	219024	102503232	21.633	7.764
469	1473.41	172757	219961	103161709	21.656	7.769
470	1476.55	173494	220900	103823000	21.679	7.775
471	1479.69	174233	221841	104487111	21.702	7.780
472	1482.83	174974	222784	105154048	21.725	7.786
473	1485.97	175716	223729	105823817	21.749	7.791
474	1489.11	176460	224676	106496424	21.771	7.897
475	1492.26	177205	225625	107171875	21.794	7.802
476	1495.40	177952	226576	107850176	21.817	7.808
477	1498.54	178701	227529	108531333	21.840	7.813
478	1501.68	179451	228484	109215352	21.863	7.819
479	1504.82	180202	229441	109902239	21.886	7.824
480	1507.96	180956	230400	110592000	21.909	7.830
481	1511.10	181710	231361	111284641	21.932	7.835
482	1514.25	182467	232324	111980168	21.954	7.840
483	1517.39	183225	233289	112678587	21.977	7.846
484	1520.53	183984	234256	113379904	22.000	7.851
485	1523.67	184745	235225	114084125	22.023	7.857
486	1526.81	185508	236196	114791256	22.045	7.862
487	1529.95	186272	237169	115501303	22.069	7.868
488	1533.10	187038	238144	116214272	22.091	7.873
489	1536.24	187805	239121	116930169	22.113	7.878
490	1539.38	188574	240100	117649000	22.136	7.884
491	1542.52	189345	241081	118370771	22.158	7.889
492	1545.66	190117	242064	119095488	22.181	7.894
493	1548.80	190890	243049	119823157	22.204	7.899
494	1551.95	191665	244036	120553784	22.226	7.905
495	1555.09	192442	245025	121287375	22.248	7.910
496	1558.23	193220	246016	122023936	22.271	7.915
497	1561.37	194000	247009	122763473	22.293	7.921
498	1564.51	194782	248004	123505992	22.316	7.926
499	1567.65	195565	249001	124251499	22.338	7.932
500	1570.80	196350	250000	125000000	22.361	7.937
501	1573.94	197136	251001	125751501	22.383	7.942
502	1577.08	197923	252004	126506008	22.405	7.947
503	1580.22	198713	253009	127263527	22.428	7.953
504	1583.36	199504	254016	128024064	22.449	7.958
505	1586.50	200296	255025	128787625	22.472	7.963
506	1589.64	201090	256036	129554216	22.494	7.969
507	1592.79	201886	257049	130323843	22.517	7.974
508	1595.93	202683	258064	131096512	22.539	7.979
509	1599.07	203481	259081	131872229	22.561	7.984
510	1602.21	204282	260100	132651000	22.583	7.989

Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
511	1605.35	205084	261121	133432831	22.605	7.995
512	1608.49	205887	262144	134217728	22.627	8.000
513	1611.64	206692	263169	135005697	22.649	8.005
514	1614.78	207499	264196	135796744	22.671	8.010
515	1617.92	208307	265225	136590875	22.694	8.016
516	1621.06	209117	266256	137388096	22.716	8.021
517	1624.20	209928	267289	138188413	22.738	8.026
518	1627.34	210741	268324	138991832	22.759	8.031
519	1630.49	211556	269361	139798359	22.782	8.036
520	1633.63	212372	270400	140608000	22.803	8.041
521	1636.77	213189	271441	141420761	22.825	8.047
522	1639.91	214008	272484	142236648	22.847	8.052
523	1643.05	214829	273529	143055667	22.869	8.057
524	1646.19	215651	274576	143877824	22.891	8.062
525	1649.34	216475	275625	144703125	22.913	8.067
526	1652.48	217301	276676	145531576	22.935	8.072
527	1655.62	218128	277729	146363183	22.956	8.077
528	1658.76	218956	278784	147197952	22.978	8.082
529	1661.90	219787	279841	148035889	23.000	8.087
530	1665.04	220618	280900	148877000	23.022	8.093
531	1668.18	221452	281961	149721291	23.043	8.098
532	1671.33	222287	283024	150568768	23.065	8.103
533	1674.47	223123	284089	151419437	23.087	8.108
534	1677.61	223961	285156	152273304	23.108	8.113
535	1680.75	224801	286225	153130375	23.130	8.118
536	1683.89	225642	287296	153990656	23.152	8.123
537	1687.04	226484	288369	154854153	23.173	8.128
538	1690.18	227329	289444	155720872	23.195	8.133
539	1693.32	228175	290521	156590819	23.216	8.138
540	1696.46	229022	291600	157464000	23.238	8.143
541	1699.60	229871	292681	158340421	23.259	8.148
542	1702.74	230722	293764	159220088	23.281	8.153
543	1705.88	231574	294849	160103007	23.302	8.158
544	1709.03	232428	295936	160989184	23.324	8.163
545	1712.17	233283	297025	161878625	23.345	8.168
546	1715.31	234140	298116	162771336	23.367	8.173
547	1718.45	234998	299209	163667323	23.388	8.178
548	1721.59	235858	300304	164566592	23.409	8.183
549	1724.73	236720	301401	165469149	23.431	8.188
550	1727.88	237583	302500	166375000	23.452	8.193
551	1731.02	238448	303601	167284151	23.473	8.198
552	1734.16	239314	304704	168196608	23.495	8.203
553	1737.30	240182	305809	169112377	23.516	8.208
554	1740.44	241051	306916	170031464	23.537	8.213
555	1743.58	241922	308025	170953875	23.558	8.218
556	1746.72	242795	309136	171879616	23.579	8.223
557	1749.87	243669	310249	172808693	23.601	8.228
558	1753.01	244545	311364	173741112	23.622	8.233
559	1756.15	245422	312481	174676879	23.643	8.238
560	1759.29	246301	313600	175616000	23.664	8.242
561	1762.43	247181	314721	176558481	23.685	8.247
562	1765.57	248063	315844	177504328	23.706	8.252
563	1768.72	248947	316969	178453547	23.728	8.257
564	1771.86	249832	318096	179406144	23.749	8.262
565	1775.00	250719	319225	180362125	23.769	8.267
566	1778.14	251607	320356	181321496	23.791	8.272
567	1781.28	252497	321489	182284263	23.812	8.277
568	1784.42	253388	322624	183250432	23.833	8.282
569	1787.57	254281	323761	184220009	23.854	8.286
570	1790.71	255176	324900	185193000	23.875	8.291
571	1793.85	256072	326041	186169411	23.896	8.296
572	1796.99	256970	327184	187149248	23.916	8.301
573	1800.13	257869	328329	188132517	23.937	8.306
574	1803.27	258770	329476	189119224	23.958	8.311
575	1806.42	259672	330625	190109375	23.979	8.315
576	1809.56	260576	331776	191102976	24.000	8.32
577	1812.70	261482	332929	192100033	24.021	8.32
578	1815.84	262388	334084	193100552	24.042	8.33
579	1818.98	263298	335241	194104539	24.062	8.33
580	1822.12	264208	336400	195112000	24.083	8.33
581	1825.26	265120	337561	196122941	24.104	8.34
582	1828.41	266033	338724	197137368	24.125	8.34
583	1831.55	266948	339889	198155287	24.145	8.35
584	1834.69	267865	341056	199176704	24.166	8.35
585	1837.83	268783	342225	200201625	24.187	8.363
586	1840.97	269703	343396	201230056	24.207	8.368
587	1844.11	270624	344569	202262003	24.228	8.373
588	1847.26	271547	345744	203297472	24.249	8.37
589	1850.40	272471	346921	204336469	24.269	8.38
590	1853.54	273397	348100	205379000	24.289	8.387
591	1856.68	274325	349281	206425071	24.310	8.392
592	1859.82	275254	350464	207474688	24.331	8.397
593	1862.96	276185	351649	208527857	24.351	8.401
594	1866.11	277117	352836	209584584	24.372	8.406
595	1869.25	278051	354025	210644875	24.393	8.411
596	1872.39	278986	355216	211708736	24.413	8.415
597	1875.53	279923	356409	212776173	24.433	8.420
598	1878.67	280862	357604	213847192	24.454	8.425
599	1881.81	281802	358801	214921799	24.474	8.429
600	1884.96	282744	360000	216000000	24.495	8.434
601	1888.10	283687	361201	217081801	24.515	8.439
602	1891.24	284632	362404	218167208	24.536	8.444
603	1894.38	285578	363609	219256227	24.556	8.448
604	1897.52	286526	364816	220348864	24.576	8.453
605	1900.66	287476	366025	221445125	24.597	8.458
606	1903.80	288426	367236	222545016	24.617	8.462
607	1906.95	289379	368449	223648543	24.637	8.467
608	1910.09	290334	369664	224755712	24.658	8.472
609	1913.23	291289	370881	225866529	24.678	8.476
610	1916.37	292247	372100	226981000	24.698	8.481
611	1919.51	293206	373321	228099131	24.718	8.485
612	1922.65	294166	374544	229220928	24.739	8.490
613	1925.80	295128	375769	230346397	24.758	8.495
614	1928.94	296092	376996	231475544	24.779	8.499
615	1932.08	297057	378225	232608375	24.799	8.504
616	1935.22	298024	379456	233744896	24.819	8.509
617	1938.36	298993	380689	234885113	24.839	8.513
618	1941.50	299963	381924	236029032	24.859	8.518
619	1944.65	300934	383161	237176659	24.879	8.522
620	1947.79	301907	384400	238328000	24.899	8.527
621	1950.93	302882	385641	239483061	24.919	8.532
622	1954.07	303858	386884	240641848	24.939	8.536
623	1957.21	304836	388129	241804367	24.959	8.541
624	1960.35	305815	389376	242970624	24.980	8.545
625	1963.50	306796	390625	244140625	25.000	8.549
626	1966.64	307779	391876	245314376	25.019	8.554
627	1969.78	308763	393129	246491883	25.040	8.559
628	1972.92	309749	394384	247673152	25.059	8.563
629	1976.06	310736	395641	248858189	25.079	8.568
630	1979.20	311725	396900	250047000	25.099	8.573
631	1982.34	312715	398161	251239591	25.119	8.577
632	1985.49	313707	399424	252435968	25.139	8.582
633	1988.63	314701	400689	253636137	25.159	8.586
634	1991.77	315696	401956	254840104	25.179	8.591
635	1994.91	316692	403225	256047875	25.199	8.595
636	1998.05	317691	404496	257259456	25.219	8.599
637	2001.19	318690	405769	258474853	25.239	8.604
638	2004.34	319692	407044	259694072	25.259	8.609
639	2007.48	320695	408321	260917119	25.278	8.613
640	2010.62	321699	409600	[illegible]	[illegible]	8.618

[illegible]	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
41	2013.76	322705	410881	263374721	25.318	8.622
42	2016.90	323713	412164	264609288	25.338	8.627
43	2020.04	324722	413449	265847707	25.357	8.631
44	2023.19	325733	414736	267089984	25.377	8.636
45	2026.33	326746	416025	268336125	25.397	8.640
46	2029.47	327759	417316	269586136	25.416	8.644
47	2032.61	328775	418609	270840023	25.436	8.649
48	2035.76	329792	419904	272097792	25.456	8.653
49	2038.89	330811	421201	273359449	25.475	8.658
50	2042.04	331831	422500	274625000	25.495	8.662
651	2045.18	332853	423801	275894451	25.515	8.667
652	2048.32	333876	425104	277167808	25.534	8.671
653	2051.46	334901	426409	278445077	25.554	8.676
654	2054.60	335928	427716	279726264	25.573	8.680
655	2057.74	336956	429025	281011375	25.593	8.684
656	2060.88	337985	430336	282300416	25.612	8.689
657	2064.03	339017	431649	283593393	25.632	8.693
658	2067.17	340049	432964	284890312	25.651	8.698
659	2070.31	341084	434281	286191179	25.671	8.702
660	2073.45	342120	435600	287496000	25.690	8.706
661	2076.59	343157	436921	288804781	25.710	8.711
662	2079.73	344196	438244	290117528	25.729	8.715
663	2082.88	345237	439569	291434247	25.749	8.719
664	2086.02	346279	440896	292754944	25.768	8.724
665	2089.16	347323	442225	294079625	25.787	8.728
666	2092.30	348368	443556	295408296	25.807	8.733
667	2095.44	349416	444889	296740963	25.826	8.737
668	2098.58	350464	446224	298077632	25.846	8.742
669	2101.73	351514	447561	299418309	25.865	8.746
670	2104.87	352566	448900	300763000	25.884	8.750
671	2108.01	353619	450241	302111711	25.904	8.753
672	2111.15	354674	451584	303464448	25.923	8 759
673	2114 29	355730	452929	304821217	25.942	8.763
674	2117.43	356788	454276	306182024	25.961	8.768
675	2120.58	357847	455625	307546875	25.981	8.772
676	2123.72	358908	456976	308915776	26 000	8.776
677	2126.86	359971	458329	310288733	26.019	8.781
678	2130.00	361035	459684	311665752	26.038	8.785
679	2133.14	362101	461041	313046839	26.058	8.789
680	2136.28	363168	462400	314432000	26.077	8.794
681	2139.42	364237	463761	315821241	26.096	8.798
682	2142.57	365308	465124	317214568	26.115	8.802
683	2145.71	366380	466489	318611987	26.134	8.807
684	2148.85	367454	467856	320013504	26.153	8.811
685	2151.99	368529	469225	321419125	26.172	8.815
686	2155.13	369605	470596	322828856	26.192	8.819
687	2158.27	370684	471969	324242703	26.211	8.824
688	2161.42	371764	473344	325660672	26.229	8.828
689	2164.56	372845	474721	327082769	26.249	8.832
690	2167.70	373928	476100	328509000	26.268	8.836
691	2170.84	375015	477481	329939371	26.287	8.841
692	2173.98	376099	478864	331373888	26.306	8.845
693	2177.12	377187	480249	332812557	26.325	8.849
694	2180.27	378276	481636	334255384	26.344	8.853
695	2183.41	379367	483025	335702375	26.363	8.858
696	2186.55	380460	484416	337153536	26.382	8.862
697	2189.69	381554	485809	338608873	26.401	8.866
698	2192.83	382650	487204	340068392	26.419	8.870
699	2195.97	383747	488601	341532099	26.439	8.875
700	2199.12	384846	490000	343000000	26.457	8.879
701	[illegible]	[illegible]	491401	344472101	26.476	8.883
702	2205.40	387048	492804	345948408	26.495	8.887
703	2208.54	388151	494209	347428927	26.514	8.892
704	[illegible]	[illegible]	495616	348913664	26.533	8.896
705	[illegible]	[illegible]	[illegible]	350402625	26.552	8.900

Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
706	2217.96	391471	498436	351895816	26.571	8.904
707	2221.11	392581	499849	353393243	26.589	8.908
708	2224.25	393692	501264	354894912	26.608	8.913
709	2227.39	394805	502681	356400829	26.627	8.917
710	2230.53	395920	504100	357911000	26.645	8.921
711	2233.67	397036	505521	359425431	26.664	8.925
712	2236.81	398151	506944	360944128	26.683	8.929
713	2239.96	399273	508369	362467097	26.702	8.934
714	2243.10	400393	509796	363994344	26.721	8.938
715	2246.24	401516	511225	365525875	26.739	8.942
716	2249.38	402640	512656	367061696	26.758	8.946
717	2252.52	403765	514089	368601813	26.777	8.950
718	2255.66	404892	515524	370146232	26.795	8.954
719	2258.81	406021	516961	371694959	26.814	8.959
720	2261.95	407151	518400	373248000	26.833	8.963
721	2265.09	408283	519841	374805361	26.851	8.967
722	2268.23	409416	521284	376367048	26.870	8.971
723	2271.37	410551	522729	377933067	26.889	8.975
724	2274.51	411687	524176	379503424	26.907	8.979
725	2277.66	412825	525625	381078125	26.926	8.983
726	2280.80	413965	527076	382657176	26.944	8.988
727	2283.94	415106	528529	384240583	26.963	8.992
728	2287.08	416249	529984	385828352	26.981	8.996
729	2290.22	417393	531441	387420489	27.000	9.000
730	2293.36	418539	532900	389017000	27.018	9.004
731	2296.50	419687	534361	390617891	27.037	9.008
732	2299.65	420836	535824	392223168	27.055	9.012
733	2302.79	421986	537289	393832837	27.074	9.016
734	2305.93	423138	538756	395446904	27.092	9.020
735	2309.07	424292	540225	397065375	27.111	9.023
736	2312.21	425442	541696	398688256	27.129	9.029
737	2315.35	426604	543169	400315553	27.148	9.033
738	2318.50	427763	544644	401947272	27.166	9.037
739	2321.64	428923	546121	403583419	27.184	9.041
740	2324.78	430085	547600	405224000	27.203	9.045
741	2327.92	431248	549081	406869021	27.221	9.049
742	2331.06	432412	550564	408518488	27.239	9.053
743	2334.20	433579	552049	410172407	27.258	9.057
744	2337.35	434747	553536	411830784	27.276	9.061
745	2340.49	435916	555025	413493625	27.295	9.065
746	2343.63	437087	556516	415160936	27.313	9.069
747	2346.77	438260	558009	416832723	27.331	9.073
748	2349.91	439434	559504	418508992	27.349	9.077
749	2353.05	440610	561001	420189749	27.368	9.081
750	2356.20	441787	562500	421875000	27.386	9.086
751	2359.34	442966	564001	423564751	27.404	9.089
752	2362.48	444146	565504	425259008	27.423	9.094
753	2365.62	445328	567009	426957777	27.441	9.098
754	2368.76	446512	568516	428661064	27.459	9.102
755	2371.90	447697	570025	430368875	27.477	9.106
756	2375.04	448884	571536	432081216	27.495	9.10[illegible]
757	2378.19	450072	573049	433798093	27.514	9.1[illegible]
758	2381.33	451262	574564	435519512	27.532	9.1[illegible]
759	2384.47	452454	576081	437245479	27.549	9.1[illegible]
760	2387.61	453647	577600	438976000	27.568	9.1[illegible]
761	2390.75	454841	579121	440711081	27.586	9.1[illegible]
762	2393.89	456037	580644	442450728	27.604	9.1[illegible]
763	2397.04	457235	582169	444194947	27.622	9.1[illegible]
764	2400.18	458435	583696	445943744	27.640	9.14[illegible]
765	2403.32	459635	585225	447697125	27.659	9.14[illegible]
766	2406.46	460838	586756	449455096	27.677	9.1[illegible]
767	2409.60	462042	588289	451217663	27.695	9.1[illegible]
768	2412.74	463247	589824	452984832	27.713	9.1[illegible]
769	2415.88	464454	591361	454756609	27.731	9.1[illegible]
770	2419.03	465663	592900	456533000	27.749	9.1[illegible]

Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
771	2422.17	466875	594441	458314011	27.767	9.170
772	2425.31	468085	595984	460099648	27.785	9.174
773	2428.45	469299	597529	461889917	27.803	9.178
774	2431.59	470514	599076	463684824	27.821	9.182
775	2434.74	471730	600625	465484375	27.839	9.185
776	2437.88	472949	602176	467288576	27.857	9.189
777	2441.02	474168	603729	469097433	27.875	9.193
778	2444.16	475390	605284	470910952	27.893	9.197
779	2447.30	476612	606841	472729139	27.911	9.201
780	2450.44	477837	608400	474552000	27.928	9.205
781	2453.58	479063	609961	476379541	27.946	9.209
782	2456.73	480290	611524	478211768	27.964	9.213
783	2459.87	481520	613089	480048687	27.982	9.217
784	2463.01	482750	614656	481890304	28.000	9.221
785	2466.15	483983	616225	483736625	28.018	9.225
786	2469.29	485216	617796	485587656	28.036	9.229
787	2472.43	486452	619369	487443403	28.054	9.233
788	2475.58	487689	620944	489303872	28.071	9.237
789	2478.72	488927	622521	491169069	28 089	9.240
790	2481.86	490168	624100	493039000	28.107	9.244
791	2485.00	491409	625681	494913671	28.125	9.248
792	2488.14	492653	627264	496793088	28.142	9.252
793	2491.28	493898	628849	498677257	28.160	9.256
794	2494.43	495144	630436	500566184	28.178	9.260
795	2497.57	496392	632025	502459875	28.196	9.264
796	2500.71	497642	633616	504358336	28.213	9.268
797	2503.85	498893	635209	506261573	28.231	9.272
798	2506.99	500145	636804	508169592	28.249	9.275
799	2510.13	501400	638401	510082399	28.267	9.279
800	2513.28	502656	640000	512000000	28.284	9.283
801	2516.42	503913	641601	513922401	28.302	9.287
802	2519.56	505172	643204	515849608	28.320	9.291
803	2522.70	506432	644809	517781627	28.337	9.295
804	2525.84	507695	646416	519718464	28.355	9.299
805	2528.98	508958	648025	521660125	28.373	9.302
806	2532.12	510224	649636	523606616	28.390	9.306
807	2535.27	511490	651249	525557943	28.408	9.310
808	2538.41	512759	652864	527514112	28.425	9.314
809	2541.55	514029	654481	529475129	28.443	9.318
810	2544.69	515300	656100	531441000	28.460	9.322
811	2547.83	516574	657721	533411731	28.478	9.326
812	2550.97	517848	659344	535387328	28.496	9.329
813	2554.12	519125	660969	537367797	28.513	9.333
814	2557.26	520402	662596	539353144	28.531	9.337
815	2560.40	521682	664225	541343375	28.548	9 341
816	2563.54	522963	665856	543338496	28.566	9.345
817	2566.68	524245	667489	545338513	28.583	9.348
818	2569.82	525529	669124	547343432	28.601	9.352
819	2572.97	526815	670761	549353259	28.618	9.356
820	2576.11	528102	672400	551368000	28.636	9.360
821	2579.25	529391	674041	553387661	28.653	9.364
822	2582.39	530682	675684	555412248	28.671	9.368
823	2585.53	531974	677329	557441767	28.688	9.371
824	2588.67	533267	678976	559476224	28.705	9.375
825	2591.82	534562	680625	561515625	28.723	9.379
826	2594.96	535859	682276	563559976	28.740	9.383
827	2598.10	537158	683929	565609283	28.758	9.386
828	2601.24	538457	685584	567663552	28.775	9.390
829	2604.38	539759	687241	569722789	28.792	9.394
830	2607.52	541062	688900	571787000	28.810	9.398
831	2610.66	542366	690561	573856191	28.827	9.402
832	2613.81	543672	692224	575930368	28.844	9.405
833	2616.95	544980	693889	578009537	28.862	9.409
834	2620.09	546289	695556	580093704	28.879	9.413
835	2623.23	547600	697225	582182875	28.896	9.417

Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.
836	2626.37	548912	698896	584277056	28.914	9.42
837	2629.51	550226	700569	586376253	28.931	9.42[illegible]
838	2632.64	551542	702244	588480472	28.948	9.42[illegible]
839	2635.80	552859	703921	590589719	28.965	9.43[illegible]
840	2638.94	554178	705600	592704000	28.983	9.43[illegible]
841	2642.08	555498	707281	594823321	29.000	9.43[illegible]
842	2645.22	556820	708964	596947688	29.017	9.44[illegible]
843	2648.36	558143	710649	599077107	29.034	9.44[illegible]
844	2651.51	559468	712336	601211584	29.052	9.45
845	2654.65	560795	714025	603351125	29.069	9.454
846	2657.79	562125	715716	605495736	29.086	9.45[illegible]
847	2660.93	563452	717409	607645423	29.103	9.46[illegible]
848	2664.07	564784	719104	609800192	29.120	9.46[illegible]
849	2667.21	566117	720801	611960049	29.138	9.46[illegible]
850	2670.36	567451	722500	614125000	29.155	9.47[illegible]
851	2673.50	568787	724201	616295051	29.172	9.4[illegible]
852	2676.64	570125	725904	618470208	29.189	9.48[illegible]
853	2679.78	571464	727609	620650477	29.206	9.48[illegible]
854	2682.92	572804	729316	622835864	29.223	9.48[illegible]
855	2686.06	574147	731025	625026375	29.240	9.49[illegible]
856	2689.20	575490	732736	627222016	29.257	9.49[illegible]
857	2692.35	576836	734449	629422793	29.275	9.49[illegible]
858	2695.49	578183	736164	631628712	29.292	9.50[illegible]
859	2698.63	579551	737881	633839779	29.309	9.5[illegible]
860	2701.77	580881	739600	936056000	29.326	9.51[illegible]
861	2704.91	582233	741321	638277381	29.343	9.51[illegible]
862	2708.05	583586	743044	640503928	29.360	9.51[illegible]
863	2711.20	584941	744769	642735647	29.377	9.52[illegible]
864	2714.34	586297	746496	644972544	29.394	9.32[illegible]
865	2717.48	587655	748225	647214625	29.411	9.52
866	2720.62	589015	749956	649461896	29.428	9.53[illegible]
867	2723.76	590376	751689	651714363	29.445	9.53[illegible]
868	2726.90	591739	753424	653972032	29.462	9.539
869	2730.05	593103	755161	656234909	29.479	9.543
870	2733.19	594469	756900	658503000	29.496	9.546
871	2736.33	595836	758641	660776311	29.513	9.55[illegible]
872	2739.47	597205	760384	663054848	29.530	9.55[illegible]
873	2742.61	598576	762129	665338617	29.547	9.557
874	2745.75	599948	763876	667627624	29.563	9.5[illegible]
875	2748.90	601521	765625	669921875	29.580	9.5[illegible]
876	2752.04	602697	767376	672221376	29.597	9.5[illegible]
877	2755.18	604073	769129	674526133	29.614	9.572
878	2758.32	605451	770884	676836152	29.631	9.57[illegible]
879	2761.46	606832	772641	679151439	29.648	9.57[illegible]
880	2764.60	608213	774400	681472000	29.665	9.583
881	2767.74	609596	776161	683797841	29.682	9.58[illegible]
882	2770.89	610981	777924	686128968	29.698	9.59[illegible]
883	2774.03	612367	779689	688465387	29.715	9.594
884	2777.17	613755	781456	690807104	29.733	9.597
885	2780.31	615144	783225	693154125	29.749	9.60[illegible]
886	2783.45	616535	784996	695506456	29.766	9.60[illegible]
887	2786.59	617928	786769	697864103	29.783	9.60[illegible]
888	2789.73	619322	788544	700227072	29.799	9.612
889	2792.88	620718	790321	702595369	29.816	9.615
890	2796.02	622115	792100	704969000	29.833	9.619
891	2799.16	623514	793881	707347971	29.850	9.623
892	2802.50	624914	795664	709732288	29.866	9.62[illegible]
893	2805.44	626316	797449	712121957	29.883	9.6[illegible]
894	2808.59	627719	799236	714516984	29.900	9.6[illegible]
895	2811.73	629124	801025	716917375	29.917	9.63[illegible]
896	2814.87	630531	802816	719323136	29.933	9.641
897	2818.01	631939	804609	721734273	29.950	9.64[illegible]
898	2821.15	633549	806404	724150792	29.967	9.64[illegible]
899	2824.29	634760	808201	726572699	29.983	9.65[illegible]
900	2827.44	636174	810000	729000000	30.000	9.65[illegible]

…ace.	Carré.	Cube.	Racine carrée.	Racine cubique.	Nombres.	Circonférence.	Surface.	Carré.	Cube.	Racine carrée.
7588	811801	731432701	30.017	9.658	951	2987.66	710316	904401	860085351	30.83
9004	813604	733870808	30.033	9.662	952	2990.80	711811	906304	862801408	30.85
0422	815409	736314327	30.050	9.666	953	2993.94	713307	908209	865523177	30.87
1841	817216	738763264	30.067	9.669	954	2997.08	714805	910116	868250664	30.88
3262	819025	741217625	30.083	9.673	955	3000.22	716304	912025	870983875	30.90
4684	820836	743677416	30.100	9.676	956	3003.36	717805	913936	873722816	30.91
6108	822649	746142643	30.116	9.680	957	3006.51	719307	915849	876467493	30.93
7534	824464	748613512	30.133	9.683	958	3009.65	720811	917764	879217912	30.95
8961	826281	751089429	30.150	9.687	959	3012.79	722317	919681	881974079	30.968
0389	828100	753571000	30.166	9.691	960	3015.93	723824	921600	884736000	30.984
1819	829921	756058051	30.183	9.694	961	3019.07	725333	923521	887503681	31.000
3251	831744	758550528	30.199	9.698	962	3022.21	726843	925444	890277128	31.016
4684	833569	761048497	30.216	9.701	963	3025.35	728355	927369	893056347	31.032
6120	835396	763551944	30.232	9.705	964	3028.50	729869	929296	895841344	31.048
7556	837225	766060875	30.249	9.708	965	3031.64	731384	931225	898632125	31.064
8994	839056	768575296	30.265	9.712	966	3034.78	732900	933156	901428696	31.081
0432	840889	771095213	30.282	9.715	967	3037.92	734418	935089	904231063	31.097
61875	842724	773620632	30.299	9.719	968	3041.06	735938	937024	907039232	31.11
63318	844561	776151559	30.315	9.722	969	3044.21	737459	938961	909853209	31.12
64762	846400	778688000	30.332	9.726	970	3047.35	738982	940900	912673000	31.14
66208	848241	781229961	30.348	9.729	971	3050.49	740507	942841	915498611	31.161
67655	850084	783777448	30.364	9.733	972	3053.63	742033	944784	918330048	31.177
69104	851929	786330467	30.381	9.736	973	3056.77	743560	946729	921167317	31.19
70555	853776	788889024	30.397	9.740	974	3059.91	745090	948676	924010424	31.20
72007	855625	791453125	30.414	9.743	975	3063.06	746620	950625	926859375	31.22
73461	857476	794022776	30.430	9.747	976	3066.20	748153	952576	929714176	31.241
74916	859329	796597083	30 447	9.750	977	3069.34	749687	954529	932574833	31.257
76373	861184	799178752	30.463	9.754	978	3072.48	751222	956484	935441352	31.273
77832	863041	801765089	30.480	9.758	979	3075.62	752759	958441	938313739	31.28
79292	864900	804357000	30.496	9.761	980	3078.76	754298	960400	941192000	31.305
80754	866761	806954491	30.512	9.764	981	3081.90	755838	962361	944076141	31.321
82217	868624	809557568	30.529	9.768	982	3085.05	757380	964324	946966168	31.337
83682	870489	812166237	30.545	9.771	983	3088.19	758923	966289	949862087	31.35
85148	872356	814780504	30.561	9.775	984	3091.33	760468	968256	952763904	31.36
86616	874225	817400375	30.578	9.778	985	3094.47	762014	970225	955671625	31.38
688085	876096	820025856	30.594	9.783	986	3097.61	763562	972196	958585256	31.40
689556	877969	822656953	30.610	9.785	987	3100.75	765111	974169	961504803	31.41
691029	879844	825293672	30.627	9.789	988	3103.89	766663	976144	964430272	31.43
692503	881721	827936019	30.643	9.792	989	3107.04	768216	978121	967361669	31.44
693979	883600	830584000	30.659	9.796	990	3110.18	769770	980100	970299000	31.46
695456	885481	833237621	30.676	9.799	991	3113.32	771326	982081	973242271	31.48
696935	887364	835896888	30.692	9.803	992	3116.46	742883	984064	976191488	31.49
698416	889249	838561807	30.708	9.806	993	3119.60	774442	986049	979146657	31.51
699898	891136	841232384	30.725	9.810	994	3122.75	776003	988036	982107784	31.52
701381	893025	843908625	30.741	9.813	995	3125.89	777565	990025	985074875	31.54
702867	894916	846590536	30.757	9.817	996	3129.03	779129	992016	988047936	31.55
704352	896809	849278123	30.773	9.820	997	3132.17	780693	994009	991026973	31.57
705841	898704	851971392	30.790	9.824	998	3135.31	782260	996004	994011992	31.59
707332	900601	854670349	30.806	9.827	999	3138.45	783829	998001	997002999	31.60
708823	902500	857375000	30.822	9.830	1000	3141.59	785399	1000000	1000000000	31.62

FIN.

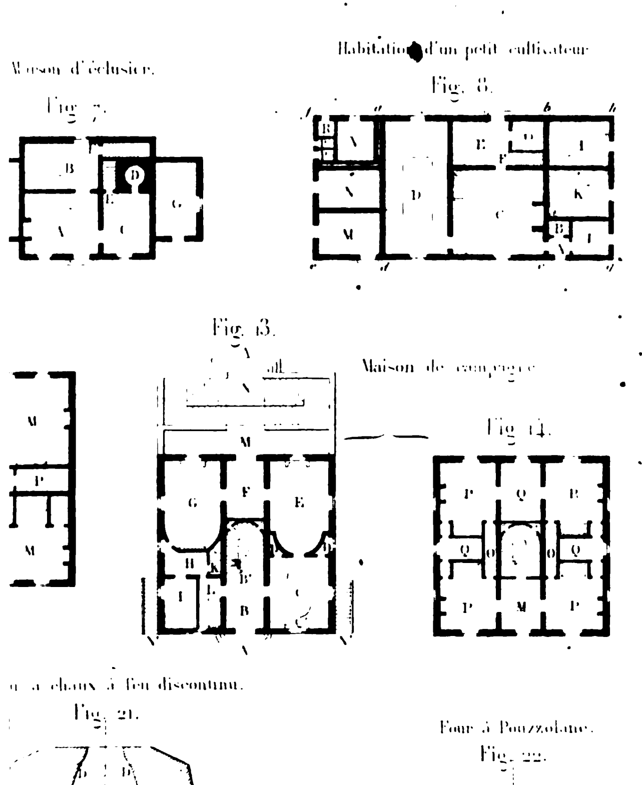
Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cᵉ, rue Racine, 26.

que Grec

on

que Romain

Toscan et

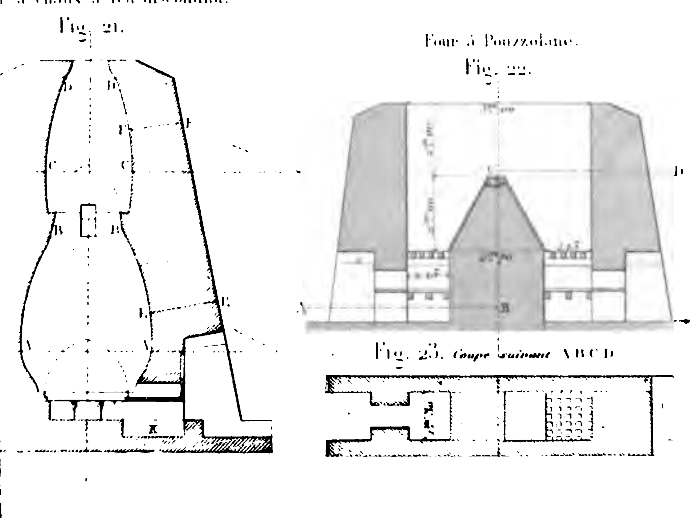


Maison d'éclusier. Fig. 7.

Habitation d'un petit cultivateur. Fig. 8.

Fig. 13.

Maison de campagne. Fig. 14.



...u à chaux à feu discontinu. Fig. 21.

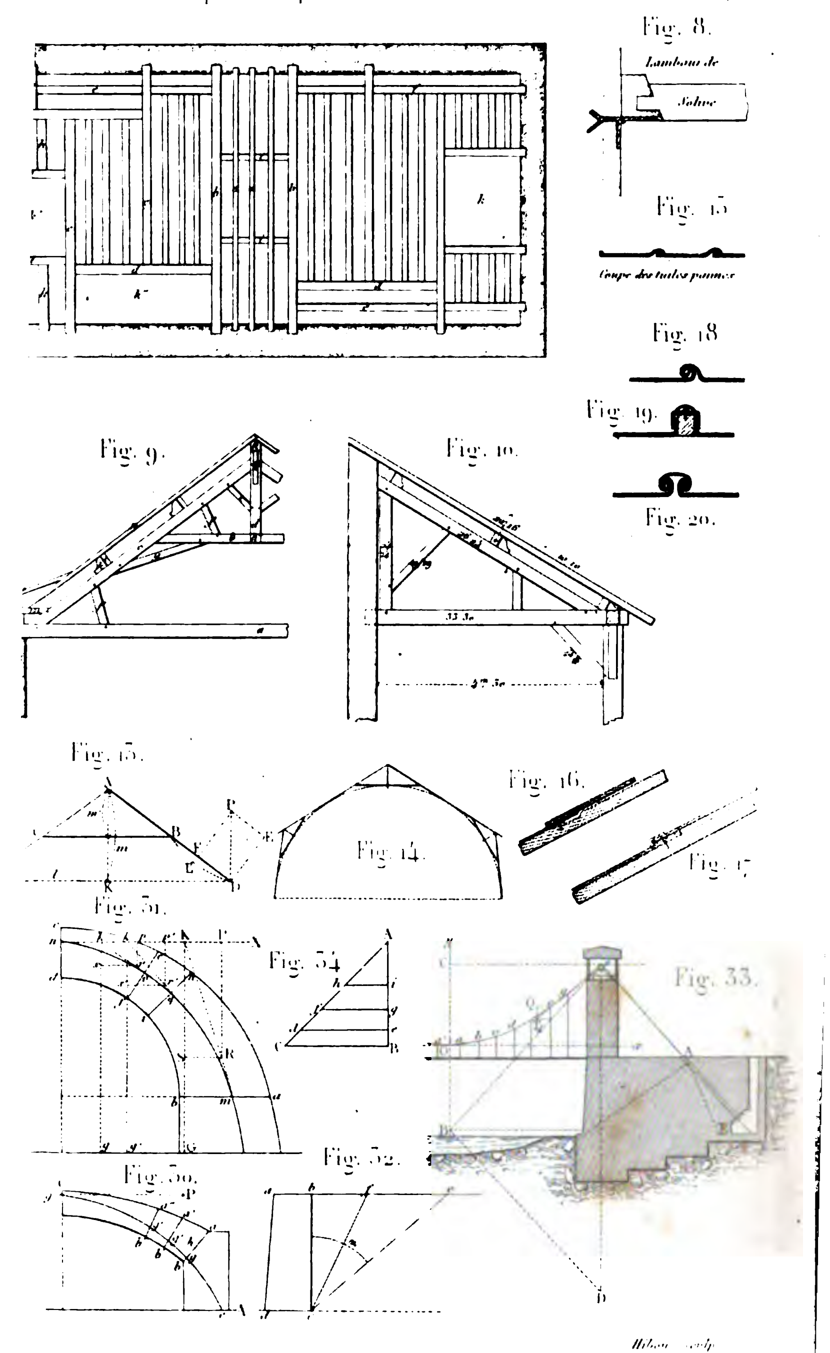
Four à Pouzzolane. Fig. 22.

Fig. 23. *Coupe suivant* A B C D

Échelle des Figures 15 à 23.

1 2 3 4 5 10




Fig. 7.
Charpente de plancher.
Fig. 8.
Lambour de
Solive
Fig. 15
Coupe des tuiles pannes
Fig. 18
Fig. 19.
Fig. 20.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 16.
Fig. 17
Fig. 31.
Fig. 34
Fig. 33.
Fig. 30.
Fig. 32.

Hibon sculp.







Cabot Science
004906548
3 2044 091 966 820